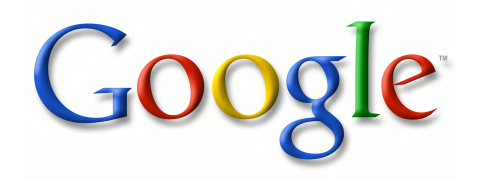
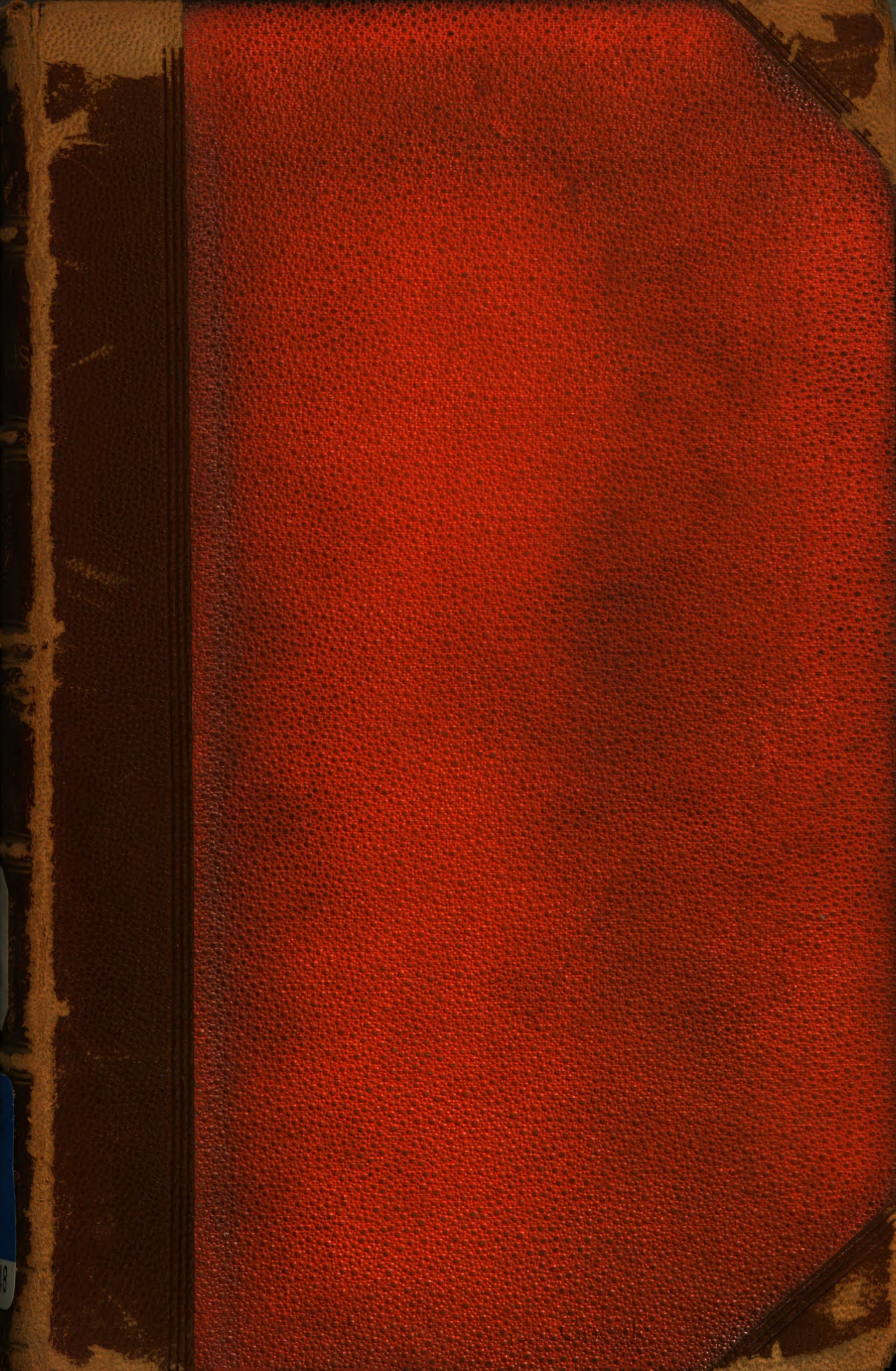
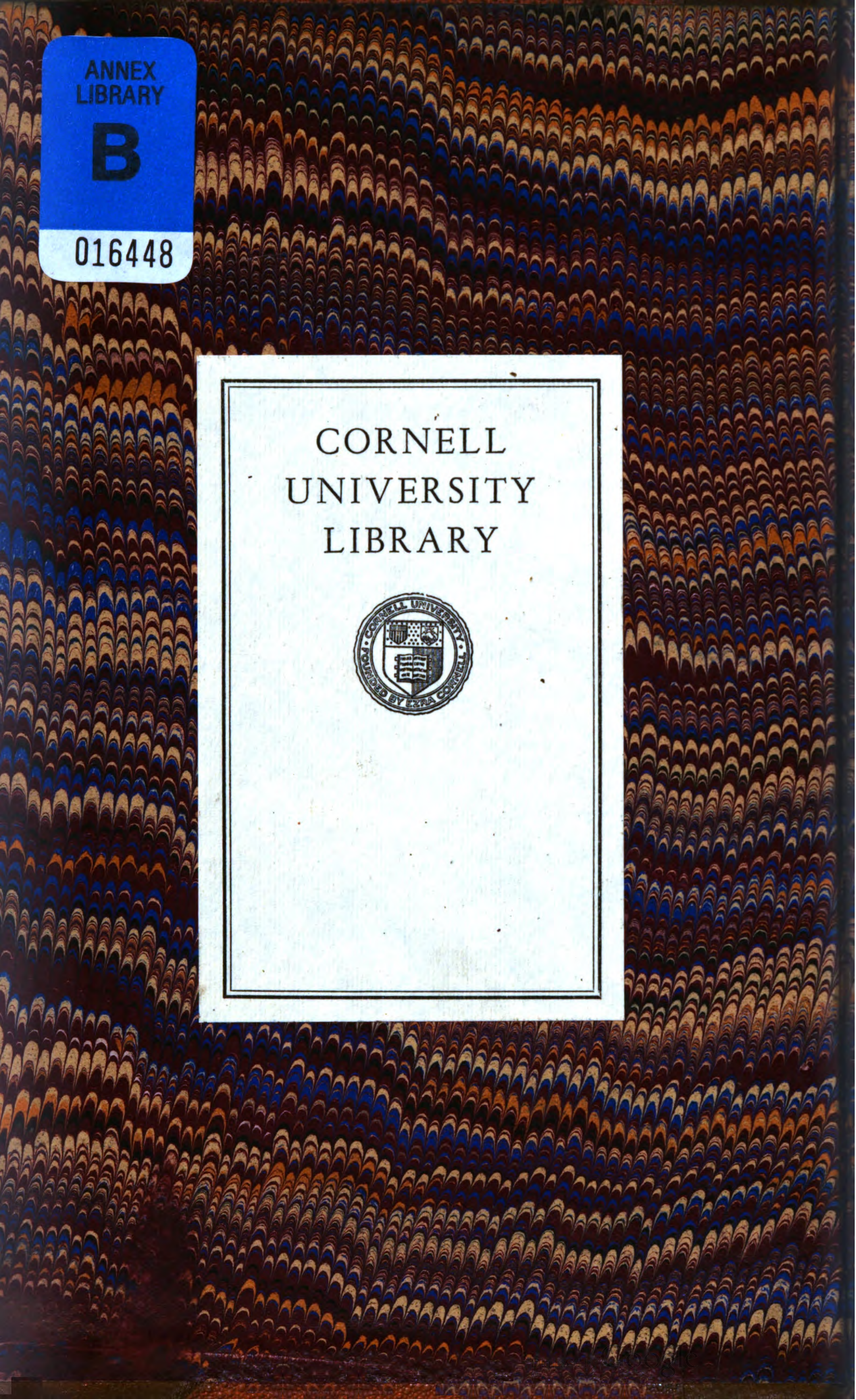





ANNEX
LIBRARY
B
016448
CORNELL
UNIVERSITY
LIBRARY
CORNELL UNIVERSITY
FOUNDED BY EZRA CORNELL


CORNELL UNIVERSITY LIBRARY
3 1924 066 183 074

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XVI

Année 1889

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1889



ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1889 Janvier-Février

SUR UN

GALVANOMÈTRE UNIVERSEL APÉRIODIQUE

L'appareil que je vais décrire a été combiné spécialement en vue des recherches de Physiologie. Comme, en raison même de sa destination, il sert à effectuer des mesures très variées : températures, forces électromotrices, résistances, capacités, intensités, mesures balistiques, etc., son usage est tout indiqué pour l'électrométrie en général.

Ce galvanomètre est une boussole des tangentes, genre Wiedemann, mais avec des modifications nombreuses dont la pratique m'a successivement démontré l'utilité et la commodité.

Il est apériodique ou balistique à volonté ; on le transforme en galvanomètre astatique Nobili, en Thomson simple ou en Thomson différentiel, par un simple changement d'équipage magnétique. Cette grande élasticité a l'avantage de répondre à tous les besoins avec

un seul appareil d'une grande précision (toutes les pièces qui le composent étant des pièces de tour) et d'un prix relativement peu élevé.

Une modification importante consiste dans la séparation complète du système portant les bobines d'avec la partie qui reçoit l'équipage et l'amortisseur; les changements, les manipulations et le transport de l'appareil sont de ce fait grandement facilités. Je décrirai séparément ces deux parties.

Partie fixe. — La *fig.* 1 représente une vue perspective du galvanomètre et la *fig.* 2 une coupe de la partie mobile. Sur un plateau circulaire P se trouve fixée de champ, suivant un diamètre, une règle divisée R. Le plateau repose sur trois pointes dont deux seulement sont des vis calantes V, V'. La ligne qui les joint est perpendiculaire à la direction de la règle R, de sorte qu'il suffit de placer les vis V, V' sur la ligne du méridien magnétique pour que l'appareil soit orienté une fois pour toutes.

Le long de la règle coulissent deux équerres fendues E, E', munies de vis qui servent à les arrêter. La partie supérieure des équerres porte un bouton à vis D qui sert à fixer les bobines circulaires B, B' où passe le courant à mesurer. Ces bobines en bois sont creusées d'une cavité hémisphérique pour loger la boule de l'amortisseur n° 6. Chaque bobine porte deux bornes conductrices pour les jonctions, et sur sa face plane j'ai fait inscrire le nombre de tours et la résistance, éléments dont la connaissance est importante pour bien des recherches.

Le remplacement de ces bobines est rendu extrêmement facile et peu coûteux. L'appareil en porte deux jeux : l'un de 150 tours et de faible résistance (4/10

d'ohm), l'autre de 15.000 tours et de 20.000 ohms pour les usages balistiques et la mesure des forces électromotrices.

De chaque côté de la règle R s'élèvent deux colonnes

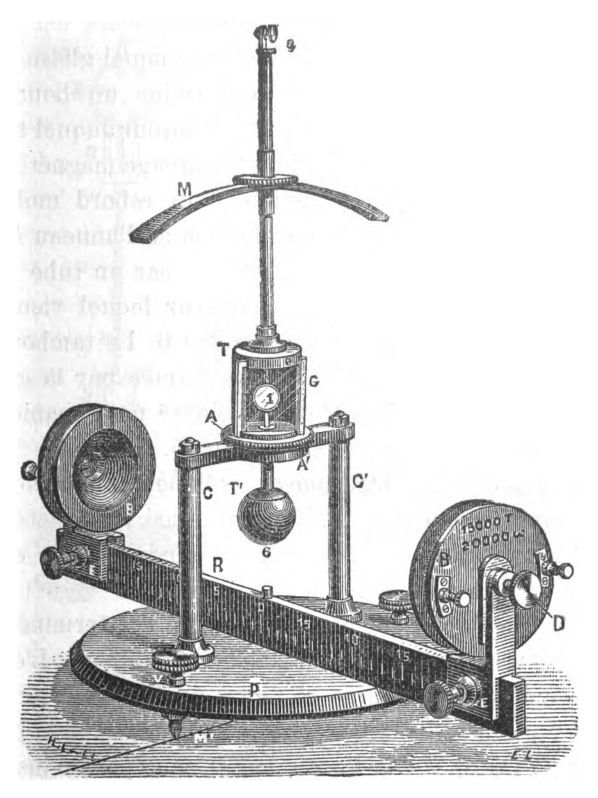


Fig. 1.

cylindriques C, C′, reliées à leur partie supérieure par une traverse A′ percée d'un trou circulaire sur lequel vient pivoter le système mobile A (voir *fig.* 2 pour le détail).

Cet ensemble, tout en cuivre, bien entendu, repré-

sente la partie de l'appareil qu'on laisse toujours en place.

Partie mobile. — La partie mobile (équipage et amortisseur) forme également un tout. Elle se compose d'une boîte cylindrique T, dont la base supérieure est surmontée d'un tube métallique le long duquel glisse l'aimant compensateur M et que termine un bouchon mobile 4 portant un bouton à treuil autour duquel s'enroule le long cocon qui soutient l'équipage magnétique.

La base inférieure A, munie d'un rebord moleté, vient s'engager à frottement doux dans l'anneau A′ et sert de pivot. Cette base se termine par un tube plus petit T′, terminé par un bouchon sur lequel vient se visser l'amortisseur en cuivre rouge 6. Le tambour T est percé d'une ouverture carrée fermée par la glace transparente G, qui s'enlève à volonté pour manier le miroir 1 et le crochet de suspension 5.

La glace G est légèrement oblique, comme on le voit sur la coupe (*fig.* 2), on évite ainsi les reflets qui sont si gênants pour la lecture quand la glace et le miroir sont parallèles.

Le fil de cocon qui part du treuil 4 est terminé par un petit crochet 5 auquel on suspend l'équipage. L'équipage magnétique simple se compose d'un petit aimant en fer-à-cheval, pesant $1^{gr},5$ à 2 grammes, très puissant en raison de sa forme, car il peut porter jusqu'à 62 fois son poids. Il est vissé à un fil métallique dont la partie supérieure vient s'engager à frottement doux dans la douille du porte-miroir 1. On peut ainsi orienter le miroir dans tous les azimuts pour la lecture. Le porte-miroir présente à sa partie supérieure un petit trou dans lequel vient s'engager le crochet de suspension 5. L'amortisseur se compose d'une sphère en cuivre

rouge 6 venant se visser sur le bouchon T′. Il est percé d'un trou cylindrique dans lequel vient pivoter l'aimant, avec 1 millimètre de jeu environ tout le tour. Comme la sphère a 4 centimètres, tandis que le diamètre exté-

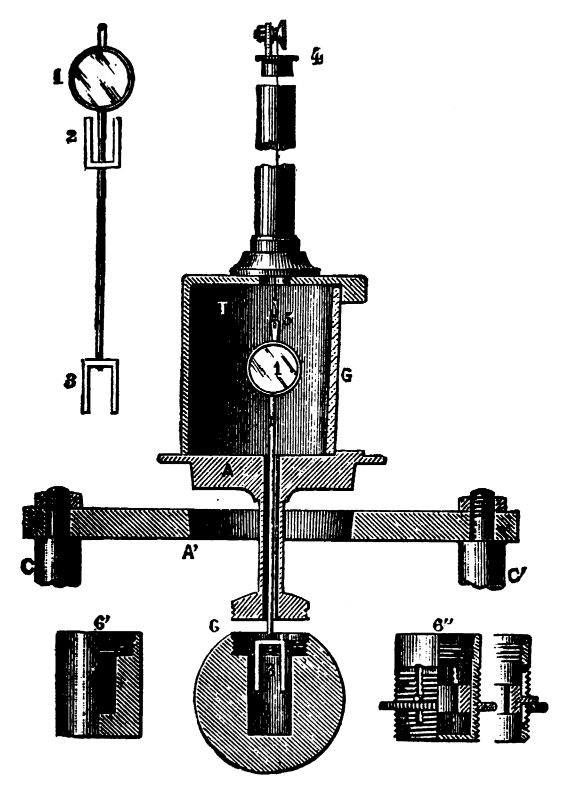


Fig. 2.

rieur de l'aimant n'en présente que 1, l'amortissement est considérable, même sans astatiser l'instrument, et, de plus, il reste le même dans tous les azimuts. On voit qu'il est très facile de retirer l'amortisseur sans toucher à l'équipage. On peut le remplacer soit par une

simple sphère en laiton mince, soit par des amortisseurs cylindriques moins puissants 6′, soit enfin par l'amortisseur variable 6″. L'amortisseur variable se compose d'un anneau de cuivre rouge qui peut coulisser dans un cylindre fendu au moyen de deux goupilles et d'une bague extérieure filetée, comme on le voit en 6″. L'aimant se trouve ainsi plus ou moins englobé dans l'amortisseur, ce qui change graduellement l'amortissement. On peut aussi se servir d'un amortisseur liquide en remplissant la sphère de laiton mince d'un liquide quelconque. Je conseille de préférence le pétrole ordinaire.

En enlevant le barreau directeur M, on a simplement une boussole des tangentes. Si l'on veut astatiser à la façon de Haüy, on remet le barreau M à la hauteur convenable à la manière ordinaire. L'amortissement devient alors parfois tellement considérable qu'on est obligé de le diminuer en remplaçant la sphère 6 soit par l'amortisseur cylindrique 6′, soit par l'amortisseur variable 6″.

On peut également astatiser à la façon de Nobili; pour cela, on enfile sur la tige qui porte l'aimant 3 un second aimant tout pareil 2, muni d'une douille *ad hoc*, en opposant les pôles de noms contraires et replaçant le miroir ainsi qu'on le voit sur la figure détachée. Comme toutes les parties 1, 2, 3, 4, 5 sont séparables, ce remplacement est des plus faciles.

Enfin, on peut enlever complètement l'équipage 3 et le remplacer par un équipage Thomson simple ou double en employant ou non l'amortisseur à liquide, qui est très efficace dans ce cas.

En retirant le crochet du porte-miroir 1 et en ôtant le bouchon 4, il est extrêmement facile de changer le

fil de cocon. Le treuil est de petites dimensions, de façon à ce qu'on puisse enlever ou remettre à volonté le barreau directeur M sans toucher à la suspension.

La lecture se fait, suivant les besoins, à l'échelle transparente simple ou à l'échelle micrométrique que j'ai autrefois décrite dans ce recueil. Dans ce cas, la sensibilité devient 25 fois plus grande pour un même angle de déviation. Ce procédé de lecture est extrêmement précieux quand on emploie l'appareil comme boussole des tangentes. Dans une prochaine communication, je décrirai le manuel opératoire pour mesurer les forces électromotrices, les résistances, les capacités, les températures, etc., et le procédé optique qui permet de rendre témoin de ces mesures par projection l'auditoire le plus nombreux, ainsi que je le fais en ce moment.

C'est en raison de ses applications multiples que j'ai cru devoir appeler cet instrument *galvanomètre universel apériodique*. Il répond, en effet, à tous les besoins.

Ces modifications successives, dont la pratique journalière m'avait montré la nécessité, ont été effectuées dans les ateliers de M. de Branville, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève, qui a bien voulu, pour les exécuter, laisser un ouvrier spécial à mon entière disposition.

A. D'ARSONVAL.



SUR LES
PHÉNOMÈNES DITS « ACTINO-ÉLECTRIQUES »

Au cours de ses belles recherches sur les oscillations électriques, M. Hertz (*) découvrit un fait singulier et bien inattendu. Une bobine de Rhumkorff étant reliée à un excitateur, on écarte les branches de ce dernier jusqu'au moment où l'étincelle cesse de se produire. Si, à ce moment, on éclaire cet excitateur par une étincelle obtenue au moyen d'une seconde bobine de Rhumkorff, on constate que les étincelles éclatent de nouveau et, par suite, que le fait seul de l'éclairement a augmenté la distance explosive. M. Hertz a démontré, en effet, que le fait observé ne dépend, en aucune façon, d'une action électrique; il suffit, pour l'obtenir, d'éclairer l'excitateur par une source de lumière quelconque riche en rayons ultra-violets.

Le phénomène découvert par M. Hertz fut étudié en Allemagne par MM. Arrhenius (**), Wiedemann et Ebert (***), M. Hallwachs (****); en Italie, par M. Righi (*****), en Russie, par M. Stoletow (******). Nous avons pu,

(*) *Wied. Ann.*, XXXI, p. 983, 1887.
(**) *Wied. Ann.*, XXXII, p. 545, et XXXIII, p. 638.
(***) *Wied. Ann.*, XXXIII, p. 241, et XXXV, p. 209.
(****) *Wied. Ann.*, XXXIII, p. 301, et XXXIV, p. 731.
(*****) *Rend. R. Acad. Roma*, IV, p. 185, 498, 578.
(******) *Comptes rendus*, CVI, p. 1149, 1593, et CVII, p. 91. — V. *Annales télégraphiques*, t. XV, 1888, p. 284.

M. Blondlot et moi (*) ajouter un certain nombre de faits nouveaux à ceux qui étaient antérieurement connus.

MM. Wiedemann et Ebert, dans leurs premières recherches, adoptèrent la disposition suivante : les deux branches d'un excitateur étaient disposées parallèlement à l'axe d'un tube de verre portant, au niveau des boules, une ouverture fermée par une plaque de quartz. Une lentille de quartz permettait de concentrer sur l'une ou l'autre des boules de l'excitateur les radiations d'une lampe électrique placée à une certaine distance. L'une des boules était reliée à l'un des pôles d'une machine de Holtz et l'autre boule était mise en communication avec la terre par l'intermédiaire d'un tube de Geissler ou d'un téléphone.

Si l'on éclaire la boule positive, l'aspect du tube de Geissler ne change pas et le son rendu par le téléphone conserve la même hauteur.

Si l'on éclaire au contraire la boule négative, on observe un changement fort appréciable dans l'aspect du tube de Geissler et le changement de hauteur du son rendu par le téléphone indique que le nombre des décharges dans l'unité de temps augmente environ dans le rapport de 4 à 3. L'illumination reste d'ailleurs sans effet si les boules de l'excitateur se trouvent soit au-dessus, soit au-dessous de la plaque de quartz, de telle sorte que la lumière soit obligée, pour les frapper, de traverser la paroi en verre du tube qui les contient. Ils constatèrent que la nature du métal a une influence : le platine, le zinc, le cuivre donnent des effets très marqués ; le fer, l'aluminium, l'argent donnent des effets très faibles. En faisant éclater une étincelle entre

(*) *Comptes rendus*, CVI, p. 1349 ; CVII, p. 29 et 557.

un métal et un liquide, ils constatèrent que les liquides colorés, en général, se conduisent comme les métaux.

La nature du gaz a une influence : ainsi l'effet produit est plus grand avec l'hydrogène qu'avec l'air; il est plus grand encore avec l'acide carbonique qu'avec l'hydrogène. Enfin l'effet croît quand on raréfie le gaz jusqu'à une pression de 3 à 4 centimètres; il décroît ensuite si l'on continue à faire le vide. La pression du maximum d'effet varie d'ailleurs avec la nature du gaz.

M. Wilhelm Hallwachs a employé, pour ses recherches, une méthode complètement différente. Un plateau métallique parfaitement isolé est relié à un électroscope à feuilles d'or également bien isolé. On électrise l'électroscope; si les isolants sont bons, la divergence des feuilles peut se maintenir pendant un temps très long. Au moyen d'un arc électrique on peut illuminer le plateau métallique. Si l'électrisation du système plateau et électroscope est positive, on constate que l'illumination ne modifie pas la déperdition d'une manière sensible. Si l'électrisation est négative, l'illumination du plateau produit un rapprochement très rapide des feuilles d'or.

En interposant diverses substances sur le trajet de la lumière, M. Hallwachs a pu dresser une liste des corps plus ou moins transparents pour les radiations efficaces. Parmi les corps transparents, je citerai le quartz, le gypse, le spath-fluor et, parmi les corps non transparents, le verre et le mica.

Par une expérience très simple, M. Hallwachs détermina d'une manière précise la nature des radiations efficaces. Pour cela, il forma un spectre avec un prisme de quartz et il constata que les radiations rouges et infra-rouges n'ont aucune action et que les radiations

violettes et ultra-violettes produisent seules un rapide rapprochement des feuilles d'or.

Toutes les expériences qui précèdent sont relatives aux changements apportés par les radiations ultra-violettes à certains phénomènes électriques observés avec des appareils chargés à un haut potentiel. Presqu'à la même époque, MM. Righi et Stoletow ont montré que cette influence des radiations ultra-violettes se fait encore sentir sur les corps chargés à un potentiel relativement faible.

La disposition expérimentale employée par ces deux physiciens est la même : une lame métallique et un grillage sont disposés parallèlement l'un à l'autre à quelques millimètres de distance. M. Righi relie simplement ces deux conducteurs aux deux paires de quadrants d'un électromètre; M. Stoletow relie la lame pleine au pôle négatif d'une pile d'une centaine d'éléments de Volta, le grillage au pôle positif, et sur le circuit il intercale un galvanomètre astatique à très grande résistance de sir W. Thomson. Si l'on éclaire la la lame négative à travers la toile métallique au moyen d'un arc électrique, on constate une déviation du galvanomètre. Si le grillage est, au contraire, relié au pôle négatif et la lame au pôle positif, la déviation est nulle. Avec cet appareil, comme avec celui de M. Hallwachs, on constate que le quartz est transparent et que le verre est opaque pour les radiations efficaces. Quand le grillage et le plateau sont constitués par des métaux différents, le grillage étant positif par rapport au plateau, on obtient des effets sans l'interposition d'aucune pile.

M. Righi a constaté que certains gaz, comme le gaz d'éclairage ou les vapeurs de sulfure de carbone, absorbent fortement les radiations efficaces. L'air lui-

même absorbe notablement. M. Stoletow a constaté que l'acide carbonique donne un courant deux fois plus intense que l'air. Enfin on retrouve l'influence de la pression déjà observée avec les appareils chargés à un haut potentiel.

Il nous a semblé intéressant d'examiner quelles modifications pourraient apporter à ces curieux phénomènes divers changements dans les conditions expérimentales. En premier lieu, nous avons recherché ce qui arriverait si l'on remplaçait par un liquide la lame métallique négative destinée à recevoir les radiations. A cet effet, nous avons substitué à cette lame métallique une plaque de verre presque verticale; sur la face de cette plaque tournée vers la toile métallique, on faisait ruisseler un courant d'eau amené par un tube percé de trous, en communication avec un réservoir isolé. La lame d'eau ainsi obtenue était reliée au pôle négatif d'une pile constituée par 80 éléments de Volta. Le reste de l'appareil était disposé comme dans l'expérience de M. Stoletow. Afin d'augmenter l'effet de l'arc voltaïque, on employait comme charbon positif un charbon contenant une âme formée par un fil d'aluminium.

L'expérience ainsi faite nous a montré que, lors de l'illumination, l'*aiguille du galvanomètre reste rigoureusement au zéro*. Or, dans les mêmes conditions, en substituant une lame métallique à une lame d'eau, on obtenait sur l'échelle du galvanomètre une déviation de plus d'un mètre. Cette expérience démontre l'inefficacité complète des radiations lorsqu'elles sont reçues par une lame d'eau.

Afin d'écarter l'objection qui pourrait être faite en raison du mouvement du liquide dans le dispositif pré-

cédent, nous avons répété notre expérience en disposant la toile métallique horizontalement au-dessus d'un cristallisoir rempli d'eau et en produisant l'illumination par le haut. Cette fois encore le résultat a été rigoureusement négatif.

Ayant pensé que la disparition du phénomène lors de la substitution d'une lame d'eau à une lame métallique pouvait tenir au contraste des propriétés absorbantes des deux corps, nous avons répété l'expérience de M. Stoletow avec la lame de métal, en interposant sur le trajet des radiations une lame d'eau entièrement libre de deux ou trois millimètres d'épaisseur obtenue en faisant écouler ce liquide par un large ajutage aplati. Nous avons constaté que l'interposition de cet écran d'eau ne diminue en rien la déviation galvanométrique. Il faut en conclure que, dans les conditions où nous avons opéré, *la transparence de l'eau pour les rayons efficaces est parfaite*. Il y a là une preuve que les rayons efficaces ne sont pas les rayons calorifiques ; car nous avons constaté que notre lame d'eau absorbait plus de la moitié de la chaleur incidente. M. Hallwachs avait déjà reconnu qu'une mince couche d'eau mouillant une lame de gypse ne diminuait pas l'action des radiations sur le passage de l'électricité à haute tension au travers des gaz.

Voici encore quelques faits que nous avons observés : en remplaçant dans l'expérience décrite plus haut l'eau du cristallisoir par de l'encre, nous avons constaté l'inefficacité de l'illumination ; le carton blanc produit un effet certain, quoique faible ; mais cet effet devient très considérable si l'on recouvre le carton de noir de fumée ou de plombagine.

M. Stoletow a constaté, de son côté, que les solu-

tions de fuchsine et de violet d'aniline se comportent comme un métal. Plus le liquide est opaque pour les rayons efficaces, plus il est capable de servir comme lame sensible.

Tous ces faits montrent que l'illumination permet le passage du courant entre le plateau et le grillage de l'appareil employé par M. Stoletow. Ce transport de l'électricité s'effectue-t-il par voie de conduction ou par voie de convection? Il m'a paru intéressant de résoudre cette question.

Le fait seul que l'on n'obtient aucune déviation du galvanomètre quand, dans l'expérience de M. Stoletow, on remplace la lame métallique par une lame d'eau, semble prouver que le transport de l'électricité ne s'effectue point par voie de conduction. Les expériences suivantes confirment cette manière de voir.

Un cylindre métallique enduit intérieurement de noir de fumée est électrisé négativement et mis en relation avec un électromètre. On constate que la déperdition n'est pas modifiée quand on éclaire l'intérieur du cylindre, au moyen d'une ouverture latérale, par des radiations ultra-violettes, tandis qu'elle est considérablement accélérée quand on fait tomber le faisceau de lumière électrique sur l'extérieur du cylindre. Ici encore, si le faisceau lumineux constituait une sorte de conducteur, il serait également apte à effectuer la décharge en touchant un point extérieur ou intérieur du cylindre métallique.

Le tourniquet électrique que j'ai récemment décrit (*), placé dans un cylindre conducteur non isolé, commençait à se mettre en mouvement, à la lumière diffuse,

(*) *Comptes rendus*, 7 mai 1888.

pour un potentiel négatif de 63 unités C.G.S. Illuminé par un arc électrique dont le charbon positif contenait une âme en aluminium, il commença à tourner d'une manière douteuse pour un potentiel de 22 (C.G.S.). L'interposition d'une lame de verre suffit pour empêcher tout effet de l'illumination.

Il semble donc que la convection joue le rôle essentiel dans les phénomènes qui nous occupent.

Les expériences suivantes que nous avons réalisées, M. Blondlot et moi, montrent que ces phénomènes de convection peuvent être singulièrement facilités quand, à l'effet de l'illumination, on ajoute celui que peut produire un vif courant d'air.

I. Un plateau et un grillage, découpés dans la même feuille de laiton et bien décapés, sont disposés en regard l'un de l'autre. On fait tomber sur le plateau, à travers les mailles du grillage, un faisceau de lumière électrique obtenu en employant un charbon positif contenant une âme en aluminium. Le plateau est relié à l'une des paires de quadrants d'un électromètre, l'autre paire de quadrants étant reliée au grillage et au sol. On constate que le plateau prend, par l'illumination, une charge positive, c'est-à-dire perd de l'électricité négative. Le potentiel qu'il acquiert est de 3 à 4 volts.

II. Les choses étant ainsi disposées, si l'on vient à diriger contre le plateau un courant d'air, on constate aussitôt que la déviation de l'électromètre devient six à sept fois plus grande. L'expérience réussit avec de l'air parfaitement desséché, comprimé dans un réservoir jusqu'à 8^{atm}; on obtient déjà des effets très marqués en agitant simplement l'air dans le voisinage du plateau à l'aide d'une feuille de carton. Tout effet de l'insufflation disparaît d'ailleurs quand on supprime la lumière.

III. Il faut remarquer que, dans cette expérience, la face du plateau sur laquelle on fait agir la lumière ne possède au début aucune charge, puisque, à ce moment, le plateau et le grillage, ayant été reliés l'un à l'autre, sont au même potentiel. L'électricité négative enlevée par l'illumination ou par le souffle ne provient donc pas d'une charge statique apparente existant à la surface du plateau.

On pouvait objecter toutefois que l'état physique des surfaces du grillage et du plateau n'est peut-être pas identique et que, par suite, il existe de petites charges statiques sur les faces en regard du condensateur qu'ils forment. Pour éclaircir ce doute, nous avons fait l'expérience suivante. Au lieu de mettre le grillage en communication avec le sol, on le relie au pôle négatif d'une pile dont le pôle positif est au sol. En employant une pile de force électromotrice d'environ 2 volts, on peut être sûr, lorsque le plateau est relié au sol, que sa face interne est revêtue d'une charge positive, puisque les différences de potentiels entre les couches qui recouvrent deux métaux en contact n'atteignent jamais cette valeur. Les choses étant ainsi disposées, le plateau est mis en communication avec l'un des pôles d'un électromètre, dont l'autre pôle est constamment au sol. On l'illumine alors, et l'on constate qu'il devient négatif, c'est-à-dire qu'il perd de l'électricité positive. Si maintenant on insuffle de l'air sur le plateau, on voit aussitôt la déviation de l'électromètre changer de sens et devenir très grande, ce qui indique que le plateau perd de l'électricité négative, bien qu'il soit recouvert d'une couche d'électricité positive. Il est donc certain que *l'électricité qui est enlevée par l'insufflation n'est pas prise à la charge statique du plateau.*

En remplaçant l'électromètre par un galvanomètre très sensible, on peut observer des faits analogues aux précédents.

1. Le grillage et le plateau étant réunis par l'intermédiaire du galvanomètre sans l'interposition d'aucune pile, si l'on illumine le plateau à travers le grillage, on ne constate la production d'aucun courant appréciable. Si l'on vient à diriger sur le plateau un courant d'air sec à une pression de 7^{atm} à 8^{atm}, on constate aussitôt la production d'un courant qui indique que le plateau perd de l'électricité négative : c'est la répétition, sous une autre forme, de la première expérience faite avec l'électromètre, avec cette différence toutefois que le galvanomètre, moins sensible que l'électromètre, n'indique pas le dégagement de l'électricité sous l'influence de la lumière seule avant l'insufflation (*).

2. Si l'on intercale dans le circuit une pile de 60 éléments de Volta dont le pôle négatif est relié au plateau, l'illumination donne, comme on sait, naissance à un courant. Si, lorsque le courant est devenu constant, on insuffle de l'air sec sur le plateau, on observe une forte augmentation de la déviation galvanométrique. Il peut arriver cependant exceptionnellement, dans des circonstances que nous n'avons pu définir encore, que l'insufflation produise, au lieu d'une augmentation, une légère diminution de la déviation.

Tous ces phénomènes ne se produisent que grâce à

(*) Cette moindre sensibilité fait que certaines expériences, qui réussissent avec l'électromètre, donnent un résultat négatif avec le galvanomètre. C'est ainsi que M. Stoletow n'a obtenu aucun résultat en remplaçant, dans une expérience que nous avons précédemment décrite, la lame d'eau par une feuille de carton mouillée. En réalité, avec l'électromètre, le carton mouillé donne un effet des plus marqués.

l'illumination : l'insufflation sans illumination reste absolument sans effet.

Nous croyons que tous les faits que nous venons de décrire peuvent être expliqués en admettant que l'action combinée de la lumière et de l'insufflation agit non seulement sur la charge apparente de la surface du plateau due à son électrisation préalable, mais encore sur la moitié située dans l'air de la couche double qui produit la différence électrique entre l'air et le métal. Il suffit de supposer que le métal est positif par rapport à l'air. Les courants produits par l'insufflation nous paraissent tout à fait analogues à ceux que l'on obtient en plongeant deux lames métalliques dans un électrolyte et agitant l'une d'elles.

En terminant, j'indiquerai certains faits montrant l'action des radiations ultra-violettes dans des circonstances qu'il me paraît intéressant de signaler.

Si l'on éclaire par des radiations ultra-violettes un conducteur quelconque relié à un électromètre, on constate que l'électromètre devient aussitôt positif et atteint un potentiel de 7 à 8 volts, c'est-à-dire que l'air en contact avec le conducteur se charge négativement. C'est l'expérience de M. Righi sous une autre forme.

On a observé exceptionnellement, dans le cas du cuivre, une électrisation négative de l'électromètre; mais la charge acquise dans ce cas par l'électromètre était toujours très faible.

Les potentiels les plus élevés ont été obtenus en éclairant, dans les conditions indiquées plus haut, une plante quelconque disposée sur un support isolant. Ici, la règle générale est que l'électrisation produite sous l'influence de l'illumination est *négative*. La déviation de l'électromètre peut atteindre et dépasser 200 divi-

sions, ce qui correspond à un potentiel supérieur à 20 volts. L'air qui environne la plante est donc électrisé positivement. Une seule fois, avec un géranium, on a obtenu une électrisation positive de la plante.

Après avoir passé en revue toutes ces expériences, il y aurait lieu de les coordonner et de leur chercher une explication. Un essai de ce genre a été fait par M. E. Wiedemann; nous ne le suivrons point sur ce terrain. Nous pensons qu'il est préférable, pour le moment du moins, de rester dans le domaine des faits. Il est probable d'ailleurs que cette action singulière des radiations ultra-violettes n'est pas seulement capable de s'exercer sur certains phénomènes électriques, mais qu'elle doit aussi se manifester dans des phénomènes qui dépendent des propriétés superficielles des corps.

E. Bichat,

Professeur à la Faculté des sciences de Nancy.



DEUXIÈME NOTE SUR LES PARATONNERRES

Dans le numéro de septembre-octobre 1887 des *Annales*, page 419, j'ai indiqué une méthode qui me paraît très convenable pour se rendre compte de la valeur des divers paratonnerres et j'ai donné les résultats obtenus avec la plupart de ceux de ces appareils actuellement en usage.

Depuis cette publication, j'ai continué, pendant quatre mois, ces expériences sur ces mêmes paratonnerres et sur quelques autres en déterminant leurs valeurs, non seulement dans le cas où l'on suppose, comme je l'ai déjà fait dans mon premier article, que la communication du paratonnerre avec le sol est parfaite, mais encore dans le cas où il en est tout autrement. J'ai également cherché l'influence, sur l'effet préservateur des paratonnerres, des résistances placées à la suite de ces appareils sur le fil de ligne, et il m'a paru utile de terminer cette note par quelques observations sur l'installation de tous ces appareils dans les bureaux télégraphiques et les guérites ainsi que sur les paratonnerres à fil de fer ténu.

La méthode employée, basée sur les propriétés du thermomètre de Riess, est très simple en théorie, mais son application en est difficile à cause de l'inconstance des piles que l'on emploie pour actionner la bobine de Rhumkorff qui sert à charger la batterie de bouteilles de Leyde, des variations de l'état hygrométrique de l'air ambiant et de toutes les causes qui influent sur la

charge électrique d'un corps électrisé à une haute tension.

On a apporté les plus grandes précautions dans ces nouvelles expériences et beaucoup de résultats obtenus ont été éliminés comme douteux ou entachés d'erreur. Ceux que je donne ici sont les moyennes d'un grand nombre d'expériences et ils ne sont comparables entre eux qu'autant qu'ils appartiennent à une même série d'essais.

En outre des paratonnerres expérimentés précédemment et de ceux en usage dans l'Administration, j'ai également étudié un paratonnerre composé de trois plaques à surfaces planes et parallèles; celle du milieu qui est la plaque de ligne étant isolée des deux autres qui communiquent entre elles et avec la terre.

Les paratonnerres qui ont fait l'objet des expériences en question dans cette note, sont les suivants que je désigne par des lettres.

PB paratonnerre Bertsch;

P_1 paratonnerre à deux plaques parallèles (dont il a été déjà question) de même surface que les plaques du paratonnerre Bertsch, distantes entre elles de 1 millimètre et séparées par une couche d'air;

P*d* paratonnerre à trois plaques dont il vient d'être question plus haut. Les dimensions des plaques sont les mêmes que dans P_1; elles sont également distantes entre elles de 1 millimètre et séparées par une couche d'air;

P*g* ne diffère de P_1 qu'en ce que les deux plaques ont une surface double;

P*p* paratonnerre à papier de l'Administration;

P*l* paratonnerre à pointes et à lame de gutta, en usage dans l'Administration.

La figure ci-jointe indique le dispositif des expériences.

B batterie de six grandes bouteilles de Leyde;

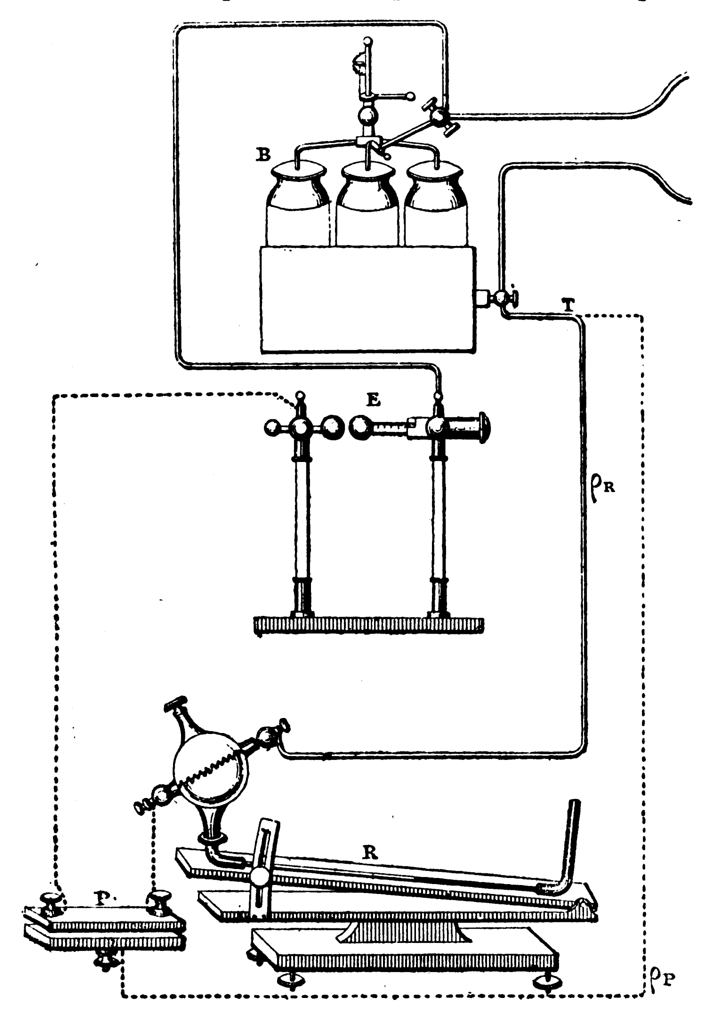
E excitateur à vernier;

R thermomètre de Riess;

P paratonnerre.

Il faut se rappeler que les fils qui relient le pôle T

de la batterie à la borne de terre du paratonnerre et au thermomètre représentent respectivement dans la pra-



tique les résistances des terres du paratonnerre et de la ligne, après cet appareil, et c'est des résistances de

ces fils qu'il s'agira quand il sera question de la résistance de la terre après le paratonnerre ou après le thermomètre.

Ces préliminaires posés, indiquons les résultats obtenus par la méthode décrite dans le numéro de septembre-octobre 1887 des *Annales*.

§ 1.

Étude de divers paratonnerres dans le cas où les communications de la terre avec le paratonnerre et avec le thermomètre de Riess ont des résistances presque négligeables (*). — Le tableau suivant indique les résultats obtenus :

TABLEAU I.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION des paratonnerres	DISTANCE des boules de l'excitateur	SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n-n'$	EFFET préservateur relatif $\frac{n-n'}{n}$
1	P*d*	15mm	271,37	10,00	261,37	0,9631
	P_1	»	»	19,50	251,87	0,9281
	P*g*	»	»	15,25	256,12	0,9437
	PB	»	»	16,50	251,87	0,9391
	P*l*	»	»	13,75	257,62	0,9491
2	P*d*	17mm	348,00	5,00	343,00	0,9856
	P*l*	»	»	9,00	339,00	0,9741
3	P*d*	15mm	249,00	11,00	238,00	0,9558
	P_1	»	»	15,00	234,00	0,9397
	P*g*	»	»	13,00	236,00	0,9477
	P*p*	»	»	13,00	236,00	0,9477
4	P*l*	15mm	326,00	8,00	318,00	0,9754
	P_1	»	»	11,00	315,00	0,9662
	P*g*	»	»	7,00	319,00	0,9785
	P*d*	»	»	5,25	320,75	0,9838
	PB	»	»	9,75	316,25	0,9700

(*) Ces résistances, égales à $0^{\omega},002$, étaient formées d'un fil de cuivre de $0^{m},50$ de longueur environ.

Les nombres inscrits dans ce tableau montrent que, dans ce cas, qui est le même que celui qui avait été examiné précédemment, le pouvoir préservateur de tous ces appareils est très grand et qu'ils doivent être placés, au point de vue de la grandeur de ce pouvoir, dans l'ordre suivant :

1° Paratonnerre à trois plaques parallèles;

2° Paratonnerre à deux plaques parallèles de surface double;

3° Paratonnerre à papier de l'Administration;

4° Paratonnerre à pointes et à feuille de gutta;

5° Paratonnerre à deux plaques parallèles;

6° Paratonnerre Bertsch.

§ 2.

Influence de la résistance de la terre du paratonnerre. — Dans les diverses expériences, on a fait varier cette résistance sans rien changer à celle qui se trouve après le thermomètre qui était la même que précédemment :

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant.

L'examen des chiffres de ce tableau montre :

1° Que l'augmentation de résistance de la terre, à laquelle est relié le paratonnerre, diminue notablement le pouvoir préservateur de l'appareil, diminution qui augmente en même temps que cette résistance. Quand celle-ci atteint 100 *ohms*, ce pouvoir est même presque nul. Cette conséquence pouvait se voir, en partie, à priori;

2° L'ordre d'efficacité des divers paratonnerres est à peu près le même que précédemment; celui à trois plaques parallèles étant le meilleur.

TABLEAU II.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION des paratonnerres	DISTANCE des boules de l'excitateur	RÉSISTANCE de la terre (*) après le paratonnerre	SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n-n'$	EFFET préservateur relatif $\frac{n-n'}{n}$
1	P*d*	15^{mm}	$0^{\omega},004$	292,50	37,50	255,00	0,8717
	»	»	$0^{\omega},002$	»	11,00	281,50	0,9623
	»	»	$0^{\omega},001$	»	1,00	291,50	0,9965
2	P*l*	15^{mm}	$0^{\omega},004$	326,00	58,00	268,00	0,8220
	»	»	$0^{\omega},002$	»	8,00	318,00	0,9754
	P_1	»	$0^{\omega},004$	»	50,00	266,00	0,8159
	»	»	$0^{\omega},002$	»	11,00	315,00	0,9662
	P*g*	»	$0^{\omega},004$	»	34,00	292,00	0,8957
	»	»	$0^{\omega},002$	»	7,00	319,00	0,9785
	P*d*	»	$0^{\omega},004$	»	38,00	288,00	0,8834
	»	«	$0^{\omega},002$	»	5,25	320,75	0,9838
	PB	»	$0^{\omega},004$	»	52,50	273,50	0,8389
	»	»	$0^{\omega},002$	»	9,75	316,25	0,9700
3	P*p*	15^{mm}	$0^{\omega},004$	249,00	27,00	222,00	0,8915
	»	»	$0^{\omega},002$	»	13,00	236,00	0,9477
4	P*d*	15^{mm}	$1^{\omega},002$	234,00	166,50	67,50	0,2884
	P*g*	»	»	»	184,00	50,00	0,2264
	P_1	»	»	»	181,00	53,00	0,2136
	P*l*	»	»	»	190,00	44,00	0,1880
	P*p*	»	»	»	208,50	25,00	0,1089
	PB	»	»	»	204,00	30,00	0,1282
5	P*d*	17^{mm}	$1^{\omega},002$	243,00	211,00	32,00	0,1316
	P_1	»	»	»	211,33	31,67	0,1303
6	P*d*	17^{mm}	$1^{\omega},002$	195,00	146,00	49,00	0,2412
	PB	»	»	»	163,00	32,00	0,5641

Remarque importante. — Lorsqu'on place après le thermomètre Riess un paratonnerre à fil ténu, celui-ci n'est nullement brûlé quand la résistance à la terre du paratonnerre ne dépasse pas $0^{\omega},002$; il l'est toujours quand cette résistance atteint seulement $0^{\omega},004$.

(*) Les résistances ne dépassant pas $0^{\omega},004$ étaient faites avec des fils de cuivre de diamètres divers, ayant environ $0^{m},50$ de longueur. Les résistances plus grandes étaient formées avec des dissolutions de sulfate de cuivre.

§ 3.

Influence de la résistance de la ligne ou des appareils à la suite du paratonnerre. — Dans cette série d'expériences, on fait varier la résistance comprise entre le deuxième pôle de la batterie et le paratonnerre, résistance qui comprend le fil de platine du thermomètre et la résistance entre ce thermomètre et la batterie. La résistance de la terre du paratonnerre est de 0$^{\omega}$,002.

Le tableau suivant contient les résultats trouvés :

TABLEAU III.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION des paratonnerres	DISTANCE des boules de l'excitateur	RÉSISTANCE après le thermomètre	SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n - n'$	EFFET préservateur relatif $\frac{n - n'}{n}$
1	P*l*	15^{mm}	0ω,002	324,00	54,50	269,50	0,8317
	»	»	1.000$^{\omega}$	»	20,50	303.50	0,9367
	»	«	0ω,610	»	25,50	298,00	0,9212
2	P*l*	15^{mm}	0ω,002	321,00	55,00	266,00	0,8286
	»	»	1.000ω	»	16,00	305,00	0,9501
	»	»	0ω,610	»	25,00	299,00	0,9221
3	P1	15^{mm}	500$^{\omega}$	192,50	1,25	190,25	0,9883
	P*g*	»	500ω	»	2,00	190.50	0,9896
	P*d*	»	500$^{\omega}$	»	1,00	191.50	0,9948
	P*l*	»	»	»	1,50	190,00	0.9870
	PB	»	»	»	1,25	190,25	0,9883
4	P*d*	17^{mm}	500$^{\omega}$	323,50	6,25	317,25	0,9806
	P*g*	»	»	»	11,50	312,00	0,9729
	P1	»	»	»	8,75	314,75	0,9644
	Pp	»	»	»	10,25	313,25	0,9683
	P*l*	»	»	»	12,25	311,25	0,9621
	PB	»	»	»	10,50	313,00	0,9675
5	P*p*	15^{mm}	0ω,610	249,00	4,00	245,00	0,9839
	»	»	0	»	13,00	236,00	0,9477

On voit :

1° Que le pouvoir préservateur des paratonnerres se

trouve augmenté par suite de cette résistance de la ligne après le paratonnerre. On devait s'y attendre, puisque l'électricité éprouvant une plus grande résistance à se rendre à la terre par la ligne, une plus grande quantité s'y rend par le paratonnerre.

2° Les pouvoirs préservateurs des paratonnerres sont encore à peu près dans le même ordre que dans le premier cas; celui du paratonnerre à trois plaques étant toujours le plus fort. Ils diffèrent d'ailleurs excessivement peu les uns des autres et ces divers paratonnerres s'équivalent à peu près.

§ 4.

Cas où la ligne après le paratonnerre a une résistance notable ainsi que la terre du paratonnerre. — Ce qui se passe alors est une conséquence de ce qui a été dit aux §§ 2 et 3. La résistance de la terre des paratonnerres diminue considérablement les pouvoirs préservateurs de ces appareils, tandis que la résistance de la ligne après les paratonnerres augmente ces pouvoirs, mais dans une proportion beaucoup moins grande.

Les chiffres du tableau suivant, comparés à ceux du tableau I, le montrent parfaitement :

TABLEAU IV.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION des paratonnerres	DISTANCE des boules de l'excitateur	RÉSISTANCES placée après		SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n-n'$	EFFET préservateur rélatif $\frac{n-n'}{n}$
			la terre du paratonnerre	le thermomètre				
1	P*d*	15mm	0ω,002	500ω	192,50	1,00	191,50	0,9948
	»	»	1ω,002	500ω	»	102,00	90,50	0,4706
	P*l*	»	0ω,002	500ω	»	1,50	190,00	0,9870
	»	»	1ω,002	500ω	»	98.00	94,50	0,4909
2	P*d*	15mm	0ω,002	500ω	179,625	1,00	178,625	0,9944
	»	»	1ω,002	500ω	»	90,75	88,875	0,5142
	P*g*	»	0ω,002	500ω	»	1,00	178,625	0,9944
	»	»	1ω,002	500ω	»	98,75	80,875	0,4502
	P*l*	»	0ω,002	500ω	»	1.00	178,625	0,9944
	»	»	1ω,002	500ω	»	87,25	92,375	0,4947
	PB	»	0ω,002	500ω	»	2.00	177,625	0,9888
	»	»	1ω,002	500ω	»	98,75	80,875	0,4502

Dans quelques expériences, le paratonnerre P*l*, à pointes et à lame de gutta, a donné des résultats un peu supérieurs à ceux fournis par les paratonnerres à plaques séparées par une couche d'air.

§ 5.

Conséquences des résultats qui précèdent. — Les meilleurs paratonnerres. — Leur mode d'installation. — Les expériences dont on vient de voir les résultats me paraissent s'approcher, autant que faire se peut, de ce qui se passe en réalité, et je crois qu'on doit, en attendant mieux, s'inspirer de ces résultats dans la pratique. Ils montrent que les pouvoirs préservateurs des divers parantonnerres expérimentés diffèrent peu les uns des autres, mais que ce pouvoir est généralement plus grand dans celui composé de trois plaques parallèles, distantes l'une de l'autre de 1 millimètre, séparées entre elles par une couche d'air et dans lequel

la plaque médiane est la plaque de ligne, les deux autres, reliées entre elles, étant deux plaques de terre. Cet appareil, ainsi que tous ceux à plaques parallèles, est, d'ailleurs, plus simple à établir et moins coûteux que ceux à pointes, comme le Bertsch, et devrait lui être préféré. Ce même paratonnerre, outre son grand pouvoir préservateur, est également préférable à celui à papier ou à tout autre analogue, dans lequel les deux lames parallèles sont séparées entre elles par un diélectrique n'ayant que de $0^{m},002$ à $0^{m},004$ d'épaisseur. Dans ceux-ci, en effet, le diélectrique est perforé après la première décharge atmosphérique un peu forte et, après quelques-unes, il y a un transport métallique d'une plaque sur l'autre, qui établit une communication entre elles et rend l'appareil impropre au service. Dans ceux à plaques parallèles, séparées par l'air et éloignées l'une de l'autre de 1 millimètre, un danger semblable n'est pas à craindre.

Le paratonnerre à trois plaques remplacerait donc avantageusement ceux actuellement en usage. L'influence considérable d'une bonne terre sur les pouvoirs préservateurs des paratonnerres, montre que ces appareils, pour être efficaces, doivent être reliés à la terre (supposée très bonne) par un conducteur de résistance négligeable ne dépassant pas, autant que possible, $0^{\omega},002$ afin qu'il ne reste pas assez d'électricité pour brûler le fil ténu. En supposant que ce conducteur soit un fil de cuivre très bon, n'ayant à 0° qu'une résistance kilométrique de $20^{\omega},57$ pour un diamètre de 1 millimètre, ce qu'on peut se procurer facilement aujourd'hui, on trouve, en négligeant la petite augmentation de résistance résultant de l'élévation de température, que si l est la lon-

gueur en mètres du fil reliant le paratonnerre à la terre, d son diamètre en millimètres, celui-ci sera donné par la formule

$$d = \sqrt{10,285 \times l},$$

si on veut que sa résistance ne dépasse pas $0^{\omega},002$ et que l'appareil ait une très grande efficacité.

Dans le cas où le cuivre serait moins bon conducteur, la valeur de d doit être un peu plus grande que celle donnée par cette formule, laquelle doit être considérée comme un minimum.

Quand le conducteur est formé de plusieurs brins câblés ensemble, le diamètre de ce câble doit être un peu plus fort.

Pour	$l = 1^{m}$	on trouve	$d = 3^{mm},2$
	$l = 10^{m}$		$d = 10^{mm},1$
	$l = 20^{m}$		$d = 14^{mm},3$

Ces diamètres sont beaucoup plus grands que ceux des fils qui relient actuellement, dans les bureaux télégraphiques, la terre aux paratonnerres; aussi il est certain que ces appareils, par suite de ces communications défectueuses, perdent la plus grande partie de leur efficacité. En outre, le conducteur de terre de chaque paratonnerre, ayant la conductibilité voulue, doit aller directement à la terre ou se relier le plus près possible du sol au gros câble de terre, afin que la portion de décharge, détournée par le paratonnerre, se rende complètement dans le sol et qu'une partie n'aille par sur un appareil du poste ayant une longueur assez grande de son fil de terre commune avec celui du paratonnerre.

De même, il me paraît convenable d'avoir, autant que possible, un fil de terre spécial pour chaque série

de paratonnerres correspondant aux fils provenant de la même direction, afin qu'aucune partie de la décharge, détournée par les paratonnerres des fils de cette ligne, n'aille sur les conducteurs d'une autre ligne, où elle pourrait produire des dégâts, notamment si celle-ci était souterraine ou sous-marine.

DU PARATONNERRE A FIL DE FER TÉNU.

Les paratonnerres dont il a été question jusqu'ici ont pour but de garantir les appareils télégraphiques des décharges atmosphériques en détournant dans le sol la plus grande partie de cette décharge, sans rien changer, d'ailleurs, aux communications de la ligne.

Le paratonnerre à fil de fer ténu a pour but de préserver les appareils des accidents que pourraient occasionner les charges qui restent sur les conducteurs (après l'effet des paratonnerres), en supprimant la communication de la ligne avec les appareils pour l'établir avec le sol. Ces deux opérations doivent se produire simultanément quand le fil ténu fond sous l'action d'une décharge électrique assez forte, ce qui a lieu d'autant plus facilement que ce fil est plus fin. Toutes les fois que cet appareil fonctionne, il produit un dérangement, qu'il faut relever, et il est certain que ce serait une chose excellente que de pouvoir s'en passer.

Dans les expériences précédentes on a vu que, lorsque la résistance de la terre des paratonnerres ordinaires ne dépassait pas $0_{\omega},002$ et était négligeable, leur efficacité était assez grande pour rendre inutile le paratonnerre à fil ténu, mais qu'il n'en était pas de même quand cette résistance était seulement

du double. On peut donc admettre que, d'après le mode actuel d'installation des paratonnerres, ceux à fil ténu sont nécessaires, mais qu'ils seraient inutiles si les premiers étaient installés avec des terres sans résistances sensibles. Car, bien souvent, lorsque les décharges atmosphériques sont plus grandes que celles que j'ai produites dans mes expériences, il arrive que la charge électrique qui reste après le premier paratonnerre brûle le fil ténu et foudroie aussi les autres appareils du poste; l'efficacité de ce paratonnerre est alors insuffisante.

Toutefois, la forme actuelle de ces paratonnerres n'est pas la meilleure, puisqu'il n'y a pas, nécessairement de mise automatique à la terre chaque fois que le fil est brûlé et, par suite, il n'empêche pas toujours le foudroiement des appareils qu'il devait garantir.

A ce modèle, je préfère un de ceux qui ont été proposés autrefois et dans lesquels la ligne est mise à la terre dès que le fil ténu est brûlé.

ÉTUDE DU PARATONNERRE A POINTES ET A LAME DE GUTTA-PERCHA.

Ce paratonnerre, qu'on pourrait appeler double, a été imaginé dans le but d'avoir un appareil dont l'efficacité fût égale à celle d'un paratonnerre à pointes et d'un paratonnerre à lame de gutta réunis.

Or, les expériences faites sur ce paratonnerre, et successivement sur chacune de ses parties, montrent qu'il n'en est rien (ce qu'on pouvait prévoir d'après les essais comparatifs faits sur les paratonnerres P_1 et P*d*), qu'il n'est pas plus efficaces que chacun des paratonnerres qu'on constituerait en prenant la plaque

de ligne, soit avec la plaque de terre ayant des pointes, soit avec la plaque de terre qui en est séparée par la lame de gutta.

Cette forme de paratonnerre n'a pas de raison d'être.

Le tableau ci-dessous dans lequel ces trois paratonnerres, dans chaque série d'expériences, étaient placés dans des conditions identiques, le montre parfaitement.

TABLEAU V.

Expériences sur le paratonnerre à pointes et à feuilles de gutta.

NUMÉROS des séries	DÉSIGNATION	DISTANCE des boules de l'excitateur	SANS le paratonnerre n	AVEC le paratonnerre n'	EFFET préservateur $n-n'$	EFFET préservateur relatif $\frac{n-n'}{n}$
1	Paratonnerre complet	15mm	269,33	91,50	177,83	0,6602
	Pointes et plaque ligne seulement	»	»	96,50	172,83	0,6417
	Plaques ligne et terre séparées par la feuille de gutta, ...	»	»	91,25	178,08	0,6611
2	Paratonnerre complet.	15mm	352,00	105,00	247,00	0,7017
	Pointes et plaque ligne seulement	»	»	104,00	248,00	0,7045
3	Paratonnerre complet.	11mm	311,00	82,00	229,00	0,7300
	Pointes et plaque ligne seulement	»	»	75,00	236,00	0,7300
4	Paratonnerre complet.	17mm	348,00	9,00	339,00	0,9741
	Pointes et plaque ligne seulement	»	»	8,25	339,75	0,9762
	Plaques ligne et terre séparées par la feuille de gutta.	»	»	8,50	339,50	0,9755

J. LAGARDE.



LES TÉLAUTOGRAPHES

Les télautographes ou appareils écrivant sont des appareils destinés à reproduire télégraphiquement les caractères écrits, *au fur et à mesure* de leur production.

Un petit nombre d'appareils de ce genre seulement ont été indiqués ou expérimentés jusqu'à ce jour. Nous nous proposons ici d'exposer rapidement le fonctionnement des principaux.

Le principe sur lequel sont fondés ces appareils a été indiqué et réalisé en 1879, par M. Cowper. Le mouvement d'un point, dans un plan, quelle qu'en soit la complication, peut toujours être décomposé en deux mouvements composants rectangulaires; inversement, la composition de ces deux mouvements composants donne toujours pour résultante le mouvement même du point. Supposons, dès lors, deux circuits électriques distincts, le premier transmettant au récepteur tous les mouvements de la plume suivant une direction déterminée, le second transmettant simultanément tous les mouvements de cette même plume suivant une direction perpendiculaire; si le mouvement du récepteur est la résultante des deux mouvements transmis, il reproduira exactement celui de la plume.

Tous les télautographes actuellement connus nécessitent donc l'emploi de deux fils : de plus transmetteurs et récepteurs comportent deux parties à angle

droit parfaitement similaires et communiquant entre elles deux à deux par l'un des fils de ligne.

La diversité des appareils provient seulement du mode employé pour enregistrer électriquement l'amplitude plus ou moins considérable des déplacements dans chacune des directions perpendiculaires. Dans le télautographe de M. Cowper, le déplacement de la plume fait varier proportionnellement la résistance du circuit.

Le transmetteur est ainsi constitué (*fig.* 1) : Un style

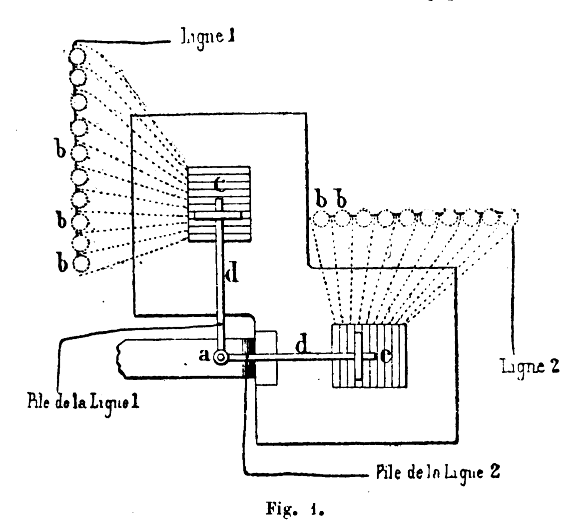


Fig. 1.

écrivant *a* qu'on tient à la manière ordinaire permet à la personne qui transmet de tracer successivement ses lettres sur une bande de papier entraînée par un mouvement d'horlogerie. Cette plume est reliée à deux bras *dd* à angle droit, isolés l'un de l'autre et communiquant chacun avec le pôle de la pile d'un des circuits de ligne, l'autre pôle étant mis à la terre. A l'extrémité de ces bras est un contact C qui, lorsque le

style se déplace, glisse sur une série de lames métalliques entre lesquelles sont intercalées des bobines de résistance *bb*. La ligne aboutit à la dernière lame. On voit dès lors qu'à mesure que le contact avance, des bobines de résistances sont supprimées du circuit de ligne, et le courant sur celle-ci augmente en proportion.

Un dispositif aisé à imaginer a permis ultérieurement à M. Cowper, en doublant chaque bras, de faire varier en même temps le nombre des éléments de la pile et d'augmenter de beaucoup l'effet produit.

Le récepteur de l'appareil est représenté *fig.* 2. Une

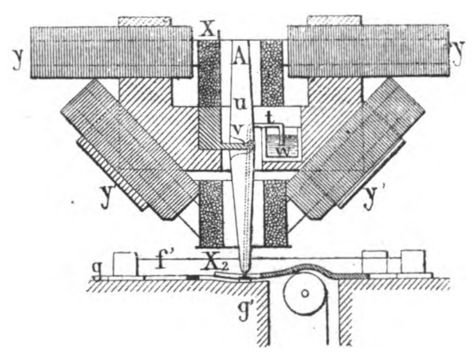


Fig. 2.

armature creuse de fer doux ou « aiguille » A est supportée en son centre par un bras fixe *v*, de telle façon qu'elle puisse aisément subir un déplacement dans toutes les directions. Elle porte à l'intérieur un siphon *g'tw* plongeant d'une part dans un petit encrier, et amenant d'autre part l'encre à la plume *g'* qui doit reproduire sur le papier les caractères envoyés. Cette armature est polarisée à l'aide de deux bobines fixes X_1, X_2 traversées par le courant d'une pile locale.

Le courant du premier circuit de ligne traverse à son arrivée quatre électro-aimants *yy y'y'* dont les actions sur l'armature sont concordantes. Un second système analogue mais placé à angle droit du précédent reçoit le courant du second circuit de ligne et permet d'enregistrer les mouvements dans la direction perpendiculaire. Des fils et des ressorts disposés comme dans la *fig.* 3 régularisent les mouvements de l'aiguille.

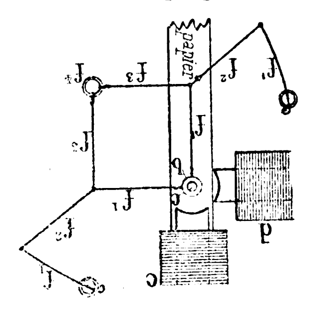


Fig. 3.

Le contact de la plume et du papier est facilité par des guides courbes qui oblige celui-ci à prendre une forme concave répondant exactement aux arcs décrits par la plume.

Enfin chaque fois que l'opérateur cesse d'écrire, un dernier dispositif permet à l'aiguille de se soulever, pour qu'elle ne laisse plus de trace sur le papier. A cet effet, elle est suspendue par un fil à un ressort maintenu par un électro-aimant. Tant que l'on écrit, c'est-à-dire tant que le courant passe, cet électro-aimant fonctionne, l'aiguille est à sa position normale : dès qu'on cesse d'écrire l'électro-aimant ne fonctionne plus et le ressort agit librement pour soulever la plume.

L'appareil de M. Cowper présente certains inconvénients : les contacts du transmetteur sont sujets à se détériorer, le mécanisme est délicat dans plusieurs parties. L'instrument fournit des caractères tremblés formés de traits rectilignes, permettant à la rigueur de reconnaître l'écriture de la personne, mais assez difficilement.

M. J. Hart Robertson a donné du problème une autre solution et son appareil modifié ensuite par M. Harry Etheridge paraît jouir déjà aux États-Unis d'une assez grande vogue.

Comme dans le précédent, l'amplitude des déplacements y est enregistrée par l'introduction de résistances dans le circuit. Mais cette introduction, au lieu de procéder par à-coups successifs (la différence de deux résistances successives était au minimum égale à la résistance d'une des bobines) est ici parfaitement continue et supprime par suite les sectionnements anguleux qui déformaient les traits dans l'appareil Cowper.

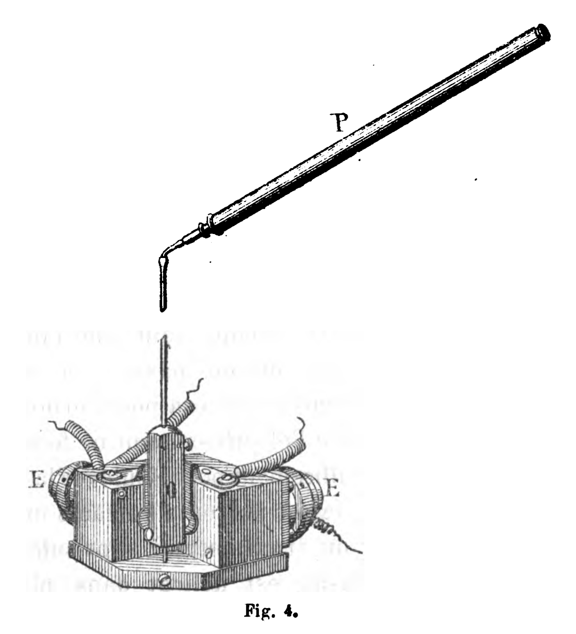


Fig. 4.

Le transmetteur de M. Robertson (*fig.* 4) renferme deux séries de minces disques de charbon d'environ $1^c,25$ de diamètre, placées à angle droit l'une de l'autre

dans une boîte de caoutchouc durci. Un écrou E permet d'établir entre les disques, dans chaque série, une pression que l'on règle d'après la longueur de la ligne. Les courants de l'un et l'autre des deux circuits de ligne traversent constamment, chacun, une de ces séries.

Vis-à-vis de ces piles de disques, un bloc O relié au porte-plume présente des points de pression électriquement isolés. Ce bloc est suspendu à sa base à l'aide d'un fil fin, de telle sorte qu'en se servant du porte-plume comme d'un porte-plume ordinaire, chacun des mouvements de celui-ci se transmette au bloc; les points de pression compriment alors plus ou moins l'une et l'autre pile et par suite en font varier la résistance.

Le récepteur (*fig.* 5) est constitué à l'aide de deux paires d'électro-aimants, y,y', embrochées chacune sur un des circuits de ligne, et placées à angle droit l'une de l'autre.

Une tige mobile *t* porte à la partie supérieure la plume approvisionnée d'encre, et au bas la double armature KK'. Un dé renversé, *d*, en forme de cloche, est fixé en son milieu. Ce dé flotte dans de la glycérine et a pour but d'amortir les oscillations communiquées à la tige par des causes extérieures. Cette tige est enfin terminée à sa base par un fil formant ressort, et réglé pour empêcher la venue au contact de l'une quelconque des armatures avec l'un des pôles d'électro-aimant.

Ces armatures K,K' sont reliées entre elles par des plaques de laiton LL. Elles sont en forme d'U et leurs extrémités polaires sont placées au-dessus des noyaux des électros. Cette disposition particulière a été choisie par M. Robertson pour remédier à un inconvénient

grave auquel il attribuait en grande partie les déformations de l'écriture obtenue.

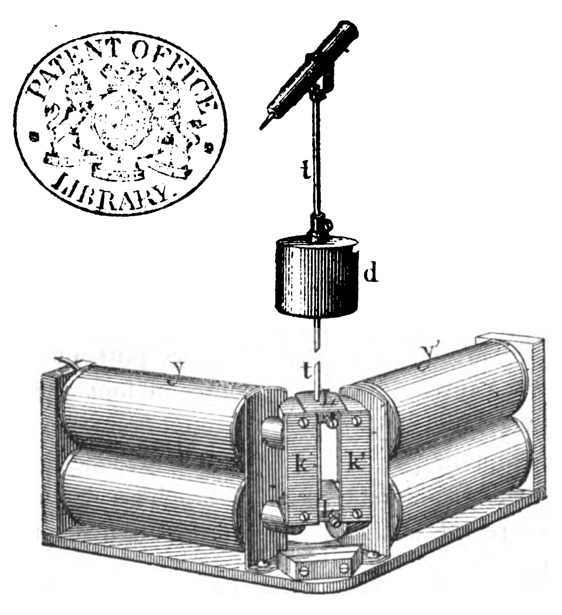


Fig. 5.

Si l'on suppose, en effet, une armature ordinaire suspendue comme un pendule en face d'un noyau d'électro-aimant, à mesure que celle-ci est rapprochée du noyau, la force magnétique croissant régulièrement, l'attraction croît aussi régulièrement : mais cela n'a lieu que jusqu'à une distance déterminée. A partir de celle-ci, l'attraction croît bien plus rapidement que ne le voudrait la loi de simple proportionnalité, il en résulte dans les traits de l'écriture une série de légères déformations, les déplacements de l'armature n'étant plus exactement proportionnels aux variations de courant.

Grâce à la position oblique de l'armature, par rapport au noyau, M. Robertson a surmonté cette difficulté : l'attraction est bien un peu diminuée, mais la proportionnalité du déplacement de la plume à l'intensité du courant de ligne est plus complète.

L'ensemble du transmetteur et du récepteur est renfermé dans une boîte de 35^c de long sur 22^c de large et 20 de hauteur. Cette boîte contient en outre une sonnerie, un mouvement d'horlogerie, et un commutateur automatique permettant de mettre l'appareil sur transmission ou réception.

La seule difficulté grave consistait dans la presque impossibilité d'obtenir des charbons de résistance comparable et suffisamment constante. M. Harry Etheridge y a remédié; il a substitué aux disques de charbon une série de languettes d'acier verticales; les parties fixes de celles-ci sont isolées : leurs parties mobiles sont platinées et entre chacune d'elles sont intercalées des bobines de résistances. Chaque fois que ces languettes sont comprimées ou écartées, les résistances sont supprimées ou introduites.

L'appareil ainsi modifié est donc une combinaison de l'appareil Cowper et de l'appareil Roberston. Il est, comme on le voit, de construction simple : de plus il est absolument insensible aux trépidations extérieures et n'est nullement gêné par l'induction des fils voisins. En revanche, il exige un courant permanent sur chacun des deux circuits de ligne.

Il n'en est point de même d'un dernier télautographe, très ingénieux comme principe, que vient de construire M. Elisha Gray.

L'enregistrement des amplitudes du mouvement dans une quelconque des deux directions perpendiculaires

n'est plus obtenu par l'introduction ou la suppression automatique de résistances sur le fil de ligne, mais bien par le nombre et la rapidité plus ou moins grande des interruptions du courant sur la ligne.

Les *fig.* 6 et 7 montrent les principales dispositions du transmetteur et du récepteur de cet appareil.

La plume A du transmetteur (*fig.* 6) est reliée à deux cordelettes F et G dirigées par des guides dans deux directions perpendiculaires, et tendues chacune par un ressort R après avoir été enroulée sur l'axe d'un des interrupteurs B ou C.

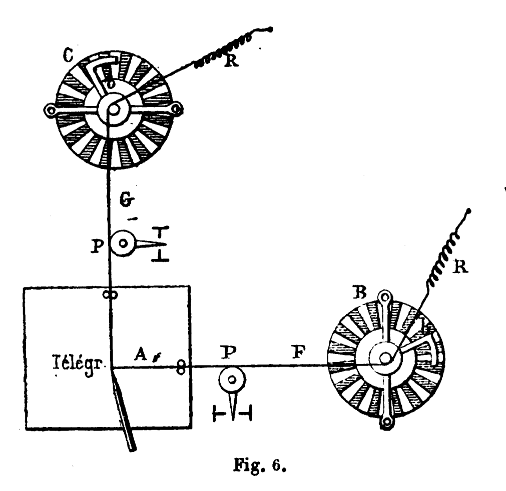


Fig. 6.

Cet axe porte un bras *b* en communication avec un pôle de la pile d'un des circuits de ligne, et est terminé à son extrémité par une brosse métallique frottant sur un distributeur circulaire dont toutes les parties métalliques sont en communication avec le fil de ligne.

Par suite de ce dispositif le courant de ligne est interrompu un nombre plus ou moins grand de fois et avec une vitesse variable, suivant l'amplitude et la

vitesse du mouvement du bras sur le disque, et ce mouvement est commandé par le mouvement même de la plume, grâce aux cordelettes F et G dont on a eu soin de limiter la course à l'aide de butoirs arrêts.

Le sens du courant de ligne est changé en même temps que le sens du déplacement de la plume. Pour cela, les cordelettes passent à frottement sur des poulies P_1P ; suivant le sens de leur déplacement, la rotation des poulies fait osciller un bras entre deux butées dans un sens ou l'autre. Le courant d'une pile locale passe alors ou ne passe plus dans un inverseur de courant qui dirige à volonté un pôle ou l'autre de la pile de ligne sur le bras du disque.

On voit en résumé que dans ce transmetteur le sens du courant sert à enregistrer le sens du déplacement de la plume, tandis que le nombre et la vitesse des interruptions enregistrent son amplitude dans ce sens.

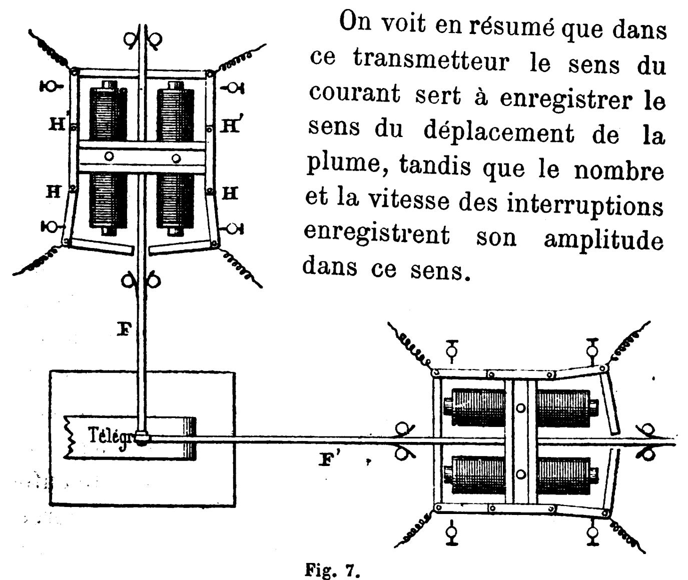


Fig. 7.

Le récepteur (*fig.* 7) est également constitué par une plume que dirigent deux tiges métalliques mobiles suivant deux directions perpendiculaires.

Chacune de ces tiges, F par exemple, traverse le massif d'un double électro-aimant HH H'H' correspondant à l'un des circuits de ligne, celui par exemple de l'interrupteur C. Des deux côtés, cette tige est prise entre les prolongements des armatures mobiles des électro-aimants. Quand un de ces couples d'armatures est attiré, il commence par saisir la tige à la façon d'une griffe, puis à mesure que les attractions successives se poursuivent, elle lui communique un mouvement d'amplitude plus ou moins grande.

On voit alors facilement comment fonctionne l'appareil. Le courant arrive dans un relai polarisé, qui, suivant son sens, l'envoie dans l'un ou l'autre des électro-aimants HH ou H'H'. Ceux-ci à leur tour font avancer ou reculer la tige F, ce mouvement étant d'autant plus grand et plus rapide que les interruptions sont elles-mêmes plus nombreuses et plus rapides. Même dispositif pour la tige F'. La plume prend par suite un mouvement résultant qui correspond exactement à celui de la plume écrivant.

Dans ce système le courant ne passe pas en permanence sur la ligne. En revanche les contacts nombreux et rapides le rendent délicat et l'écriture fournie est encore tremblée, l'attraction des armatures n'étant point constamment proportionnelle à l'intensité du courant envoyé. Il n'a pas été mis encore en service.

Quelle que soit au reste leur utilité, les télautographes n'en restent pas moins une solution intéressante et relativement simple d'un problème de mécanique en apparence compliqué.

E. Estaunié.



SUPPRESSION

DANS UN CAS PARTICULIER

DES INCONVÉNIENTS RÉSULTANT DE L'INDUCTION

OU DES DÉRIVATIONS

ENTRE DEUX FILS TÉLÉPHONIQUES

On connaît les ennuis causés par l'induction ou les dérivations entre les circuits téléphoniques à fils simples. Il n'existe pas jusqu'ici de méthode générale pour les éviter; des circonstances spéciales peuvent cependant permettre de tourner la difficulté.

Voici, par exemple, quelle est la situation dans la vallée de la Suippe, où deux groupes téléphoniques annexes au réseau de Reims ont été établis (*). Les sept abonnés de Pontfaverger et les cinq de Warmeriville sont répartis comme l'indique le croquis ci-contre (*fig.* 1), c'est-à-dire que deux lignes à fil unique d'une part, et trois lignes semblables d'autre part, sont placées sur les mêmes appuis. Des inductions ou dérivations notables se produisent de fil à fil lors des conversations des abonnés 2, 3 ou 4 de Warmeriville et des abonnés 3, 4 de Pontfaverger. Si l'on ajoute que les abonnés de ces réseaux s'occupent tous de l'industrie de la laine et sont par conséquent des concurrents, on comprend la nécessité absolue d'assurer le

(*) *Annales télégraphiques*, t. XV, 1888, p. 239.

secret de leurs correspondances téléphoniques vis-à-vis les uns des autres.

Divers moyens furent d'abord tentés qui ne donnèrent pas de résultats satisfaisants.

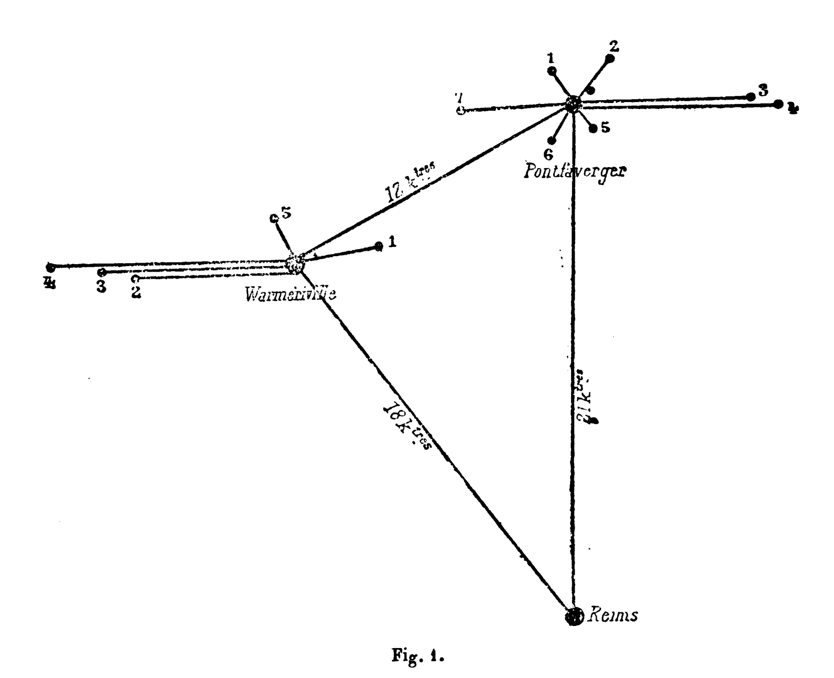


Fig. 1.

Or, en raison même de leurs occupations, les abonnés de ces réseaux ne correspondent point entre eux, et communiquent uniquement avec Reims et leurs maisons de commerce installées dans cette ville ; lorsqu'une conversation s'échange avec Reims, les autres abonnés du groupe doivent attendre leur tour pour utiliser la ligne.

La solution naturelle des difficultés dues au voisinage des fils consistait donc à *couper*, pendant les conversations, les lignes sur lesquelles l'induction se

produirait, les abonnés ne pouvant correspondre, pendant la durée de la conversation d'un coabonné, peu importe, en effet, que leurs postes soient isolés ou non.

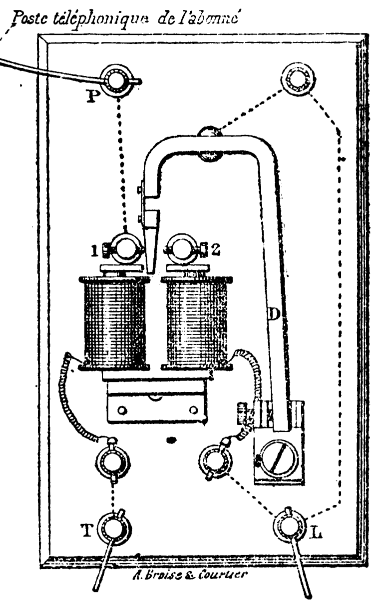
Toutefois, il ne suffisait pas d'isoler au bureau central les lignes voisines, pour empêcher les postes correspondants de percevoir les conversations échangées, il était nécessaire de les couper dans les postes mêmes desservis par elles.

A cet effet, des rappels par inversion ont été installés dans les postes 3 et 4 de Pontfaverger et les postes 2, 3 et 4 de Warmeriville, après qu'on y eut apporté les légères modifications indiquées au croquis ci-contre (*fig.* 2) et qui ont pour but de mettre, à l'état de repos, le poste téléphonique en dérivation sur le rappel.

Le courant positif dont on se sert pour appeler les abonnés a pour effet de confirmer la position de la languette sur la vis butoir n°1, et de maintenir la dérivation allant sur la sonnerie.

L'envoi d'un courant négatif continu coupe au contraire la dérivation allant sur le poste téléphonique qui se trouve par suite isolé.

La manœuvre à exécuter par le poste central consiste dès lors en ceci : en donnant la com-



8 Fig. 2.

munication avec Reims à l'un des abonnés précités, on accroche sur le ou les crochets correspondant aux lignes voisines, une clé qui puise dans une pile spéciale un courant négatif assez fort pour faire fonctionner les rappels et maintenir les languettes écartées des vis butoirs n° 1.

Ces appareils fonctionnent depuis un an à l'entière satisfaction des abonnés, et n'ont jamais occasionné de dérangements.

La solution adoptée n'est pas d'une application générale; elle fournit simplement, pour un cas particulier, un expédient utile.

25 janvier 1889.

E. Massin.

INFLUENCE DES JONCTIONS DÉFECTUEUSES

DES FILS TÉLÉPHONIQUES (*)

Le succès des communications téléphoniques à toutes distances dépend, pour une très grande part, de l'état des lignes.

Tous les perfectionnements possibles doivent être apportés aux conducteurs, afin de faciliter le passage du courant.

Actuellement, les fils de bronze ou de cuivre de haute conductibilité remplacent les fils de fer ou d'acier, et les petits isolateurs font place à d'autres de plus grand modèle d'un pouvoir isolant beaucoup plus élevé.

On est arrivé à la conviction que la terre joue un rôle nuisible dans les circuits téléphoniques, et malgré des répugnances et une opposition qui n'ont rien à voir avec la technique, la construction des lignes à double fil commence à être reconnue partout nécessaire.

Le téléphone qui, croyait-on au début, se contentait de tout et de peu, devient de plus en plus exigeant.

Comme le disait M. Lockwood à la National Exchange Association : « Rien n'est aujourd'hui trop bon pour le téléphone... » Il ne suffit pas de mettre en œuvre les meilleurs matériaux tant conducteurs qu'isolants, il est encore indispensable de soigner les moindres détails de la pose et notamment d'assurer la continuité métallique en soudant les jonctions des fils soit extérieurs, soit intérieurs.

(*) *Bulletin de la Société belge d'électriciens*, décembre 1888.

Voici quelques faits qui se sont produits en Belgique et qui sont de nature à confirmer une fois de plus cette nécessité.

Au mois d'avril de l'année 1888, on constatait sur les circuits téléphoniques de Bruxelles-Gand, Bruxelles-Ostende, Gand-Anvers et Ostende-Anvers, des bruits d'induction assez intenses, analogues à ceux engendrés par les signaux de nos appareils télégraphiques non anti-inductés.

Les deux premiers circuits sont voisins sur les mêmes poteaux télégraphiques de Bruxelles à Gand (57 kilomètres); les deux autres le sont de Gand à Termonde et de Contich à Anvers, soit sur 40 kilomètres; tous les quatre ont une partie commune de Gand à Schellebelle (16 kilomètres).

Enfin, le circuit Gand-Anvers est également voisin du circuit Bruxelles-Anvers, entre Malines et Anvers, soit sur 23 kilomètres.

Cependant, le son perçu sur tous ces circuits était plus grave que d'ordinaire et ressemblait assez bien à celui que produirait un cornet de garde-barrières émettant des signaux Morse.

Ces bruits étaient tellement intenses qu'ils se répercutaient, quoique sensiblement atténués, sur les circuits Bruxelles-Liège et Bruxelles-Namur, qui accompagnent dans la station de Bruxelles-Nord seulement, sur les mêmes poteaux, les circuits de Bruxelles-Gand et de Bruxelles-Ostende. En somme, on peut dire que le mal s'étendait un peu partout en Belgique.

Cette perturbation fut d'abord attribuée à un défaut dans les anti-inducteurs Van Rysselberghe, mais de nombreuses recherches ne firent rien découvrir de ce côté : le son grave qui caractérisait ces bruits d'in-

duction différait, d'ailleurs, de ceux provenant d'un dérangement des anti-inducteurs.

Le phénomène cessait parfois pendant plusieurs jours pour recommencer avec plus d'intensité. Ces intermittences déroutaient les opérateurs et les bruits d'induction étaient tellement forts sur tous les conducteurs voisins que l'on ne pouvait déterminer le fil qui véhiculait les courants primaires.

Après bien des tâtonnements, on reconnut que le fil 440 d'Ostende à Anvers par Gand et Termonde était plus particulièrement affecté par la perturbation : dès qu'on y cessait tout travail télégraphique, tous les

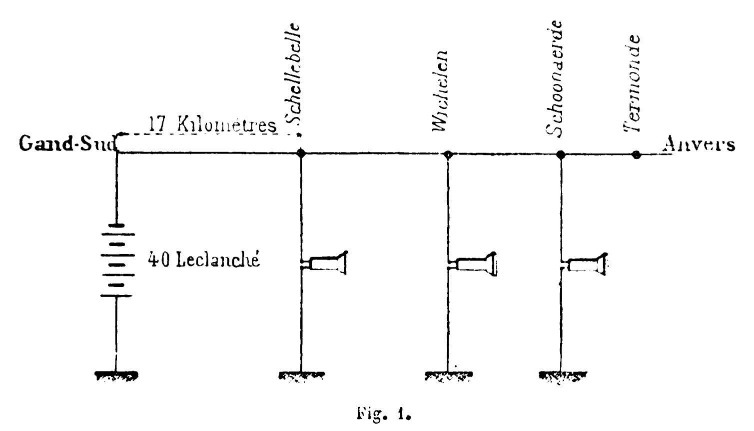


Fig. 1.

bruits disparaissaient pour reprendre dès la remise en service et ce, quels que fussent les appareils télégraphiques qui desservissent le fil.

La mesure électrique du conducteur ne fit rien constater d'anormal, si ce n'est qu'à certains moments la résistance en était variable. Les appareils télégraphiques reliés par ce fil travaillaient régulièrement sans nécessiter le renforcement de la pile, ni une modification du réglage.

On se trouvait donc en présence d'un phénomène assez étrange, difficile à expliquer et à découvrir.

Afin de localiser le dérangement, le fil fut coupé à Gand-Sud et le travail télégraphique, sur les deux sections Gand-Ostende et Gand-Anvers, montra que la défectuosité existait entre Gand et Anvers. Sur cette partie de la ligne, les bruits se produisaient, tandis que la section Gand-Ostende restait silencieuse.

D'autres coupures firent reconnaître que le dérangement se trouvait entre Gand et Termonde sur une section de 30 kilomètres. Les câbles d'introduction des fils dans le bureau de Gand et le câble de traversée du canal d'Audeghem près de Termonde furent soumis aux essais, mais aucun dérangement n'y fut constaté. Il restait donc à vérifier le fil aérien entre ces deux câbles.

Tous ces essais préliminaires avaient déjà amené à croire que la cause du mal existait à une ligature, et, pour déterminer exactement l'endroit du défaut, on procéda à l'essai suivant :

Le fil 440 isolé à Termonde fut relié à Gand-Sud à une pile de 40 éléments Leclanché et une coupure fut pratiquée d'abord à Schellebelle, à 17 kilomètres de Gand, puis à Schoonaerde, à 6 kilomètres plus loin; un téléphone fut relié d'une part à la section de Gand, d'autre part à la terre.

La première coupure ne donna rien; la seconde, au contraire, fit entendre des bruits intenses. On revint à Wichelen, à 3 kilomètres de Schellebelle, et le même essai ne donna lieu à aucun bruit dans le téléphone.

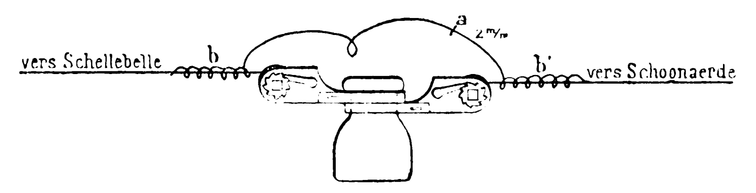
Le point défectueux se trouvait donc entre Wichelen et Schoonaerde.

De nouvelles coupures furent faites dans le fil 440 à

partir de Schoonaerde : le silence ne s'obtint qu'au poteau kilométrique de Wichelen, barrière n° 74.

A cet endroit, les deux sections du fil aérien viennent se raccorder à des tendeurs qui embrassent le col de l'isolateur. Ces isolateurs « de tension » sont établis à peu près à chaque kilomètre sur les anciennes lignes. Les inconvénients que présente ce système de pose l'a fait abandonner par l'administration belge.

Les conducteurs viennent s'enrouler sur les tambours des tendeurs et la continuité électrique est assurée par un fil de jonction (*b* à *b'*) soudé aux extrémités.



Poteau d'arrêt de Wichelen

Fig. 2.

Or, ce fil était brisé en *a*; dès lors, le courant passait par les joints de contact entre les tendeurs en fer galvanisé. Il est facile d'expliquer ce qui se produisait. Les moindres oscillations des fils modifiaient les contacts d'un tendeur à l'autre.

Sous l'action du courant, le contact variable jouait le rôle d'un transmetteur microphonique, de sorte que les bruits d'induction étaient perçus sur les autres conducteurs voisins et répercutés dans la plus grande partie du réseau téléphono-télégraphique.

Comme on le voit, il suffit d'une liaison imparfaite pour compromettre le service de la correspondance verbale par les fils servant en temps à la télégraphie.

Quelques jours après la découverte du défaut, le

fil 440 fut de nouveau affecté de la même manière. — Pour découvrir le dérangement, on procéda comme précédemment et une ligature défectueuse fut trouvée immédiatement.

En novembre, même perturbation sur le fil n° 314 du circuit téléphonique Louvain-Malines, mais ici le fil de liaison n'était pas brisé : on avait omis de souder un joint. Cette négligence réparée, la communication téléphonique par le fil 314 redevint bonne et les bruits anormaux cessèrent complètement.

La ligature imparfaite du fil 314 était récente; elle avait été exécutée par un poseur qui procédait à des essais par coupure quelques jours auparavant.

Le boudin mal serré autour du fil de ligne dansait sur celui-ci et avec les tendeurs formait un système microphonique.

Voici un autre cas, plus intéressant encore que les précédents, relevé sur une ligne téléphonique de Waremme à Wanze (30 kilomètres).

Cette ligne est établie sur chaussée, loin de toute ligne télégraphique, est à simple fil et ne sert qu'à la téléphonie.

Elle présentait cependant, avec moins d'intensité, les mêmes caractères que le fil 440.

Les bruits qu'elle produisait dans le téléphone étaient intermittents et semblaient analogues à ceux du vent soufflant sur les fils.

Une vérification approfondie des postes n'ayant amené aucun résultat, on supprima les piles et les appareils aux deux extrémités et dans le fil, prenant directement terre à Waremme et à Wanze, on intercala un récepteur téléphonique : les bruits persistèrent.

En remplaçant le téléphone par un galvanomètre

des tangentes, on constatait le passage d'un courant de terre variant de 10° à 35°.

En même temps une visite de la ligne fit reconnaître qu'au poteau kilométrique de Wanze, le fil de jonction, qui avait été brisé, n'était relié que provisoirement. Cette ligature fut refaite avec soin et soudée; depuis lors la ligne est redevenue silencieuse.

Ici encore la jonction incomplète formait un système microphonique, les terres formaient le courant.

Il résulte de ces divers faits que les diverses sections d'un fil téléphonique doivent être reliées soigneusement l'une à l'autre et les ligatures soudées.

Pour reconnaître l'état des ligatures des fils télégraphiques, l'administration belge procède à des essais semblables à celui qui a décelé le lieu du dérangement du fil 440 : on relie l'une des extrémités du fil à essayer à une pile de 30 à 40 éléments, l'autre extrémité du fil étant mise à la terre; on intercale dans ce conducteur un téléphone au moyen duquel on percevra les grincements particuliers indiquant l'imperfection d'une ligature.

Il est bon d'expérimenter le soir ou le matin, pendant que les fils télégraphiques voisins ne sont pas en activité; en outre, il faut opérer à plusieurs reprises, afin de s'assurer si les bruits commencent et finissent aux moments de la fermeture et de l'ouverture du circuit. Ce procédé est d'ailleurs applicable à tous les circuits électriques.

Si dans ces expériences on constate des bruits ou des grincements dans le téléphone, il n'est pas toujours nécessaire d'opérer par coupures successives; il suffit parfois de placer un téléphone en dérivation à la

terre sur le fil dérangé, alors que le conducteur est parcouru par un courant de 30 à 40 éléments.

Le courant dérivé dans le téléphone ne donnera guère de bruit si l'on est près de la pile et très éloigné du point défectueux.

Les grincements seront perçus de plus en plus fort dans le téléphone à mesure qu'on se rapprochera de l'endroit du défaut. Là, ils seront à leur maximum et ils ne diminueront pas sensiblement entre ce point et l'autre extrémité du fil.

Le service des télégraphes se sert de la méthode pour découvrir les défectuosités des cordons souples pour téléphone.

Ces cordons essayés au galvanomètre paraissent quelquefois parfaits, tandis qu'en service ils produisent des interruptions et des grincements dans les communications téléphoniques.

Si, au contraire, on fait l'essai du cordon au moyen d'un téléphone et d'une pile, il suffit de frôler le cordon dans la main pour déceler au téléphone la moindre imperfection dans la continuité métallique.

C'est surtout au point de jonction des fils intérieurs du cordon avec les bouts métalliques des attaches qu'on rencontre des défauts de l'espèce.

Ainsi le téléphone exige des installations aussi parfaites que possible, mais il vient lui-même en aide aux constructeurs pour les réaliser et les maintenir en bon ordre de fonctionnement.

T. DELVILLE,
Ingénieur des télégraphes.



GRAPHOPHONE DE M. S. TAINTER

ET TRANSMISSION TÉLÉPHONOGRAPHIQUE DE LA PAROLE

Nous nous proposons, sous ce titre, de décrire les derniers perfectionnements apportés aux appareils destinés à enregistrer les vibrations provenant de la parole articulée, en rappelant d'abord les premiers essais tentés à ce sujet, et en indiquant les difficultés du problème.

I

On sait que M. Edison essaya le premier de réaliser *l'inscription* de la parole à l'aide de l'instrument qu'il nomma *phonographe*.

Cet appareil se compose d'un cylindre en laiton creusé à sa surface suivant une rainure étroite en forme d'hélice à pas très serré, supporté par un axe taraudé formant une vis également très serrée, et devant être mis en mouvement avec beaucoup de régularité et de justesse, soit à la main, soit à l'aide d'un ressort d'horlogerie. Une feuille mince d'étain (semblable à celles dont on se sert pour envelopper le chocolat) est enroulée sur le cylindre. En avant et à une très petite distance du cylindre, une membrane mince, en mica par exemple, fixée à un support solidement ajusté au socle de l'appareil, porte une petite aiguille fine en contact avec la feuille d'étain au-dessus du milieu de la rainure hélicoïdale.

Cela étant, supposons le cylindre mis en mou-

vement continu et uniforme. Si on parle avec force au-dessus de la membrane, celle-ci vibre comme celle d'un téléphone, l'aiguille participe à ses mouvements, et sa pointe enfonce plus ou moins, sans la percer, la feuille d'étain dans la rainure superficielle du cylindre, produisant ainsi une sorte de sillon hélicoïdal présentant des creux et des aspérités, des vallons et des montagnes minuscules plus ou moins profonds, suivant les inflexions de la voie, sa hauteur, son intensité.

Le cylindre étant parvenu à l'extrémité de sa course, on soulève la membrane, et par suite l'aiguille servant de style, et, en tournant la vis en sens inverse, on ramène le cylindre à la position qu'il avait à l'origine de son mouvement; on abaisse de nouveau la membrane et l'on engage le style dans le sillon sinueux qu'elle vient de tracer.

Si alors, le cylindre est mis en mouvement avec la même vitesse et régularité que la première fois, la pointe du style suit les sinuosités de la trace qu'elle avait formée elle-même tout à l'heure; il en résulte des mouvements qui se communiquent à la membrane, et qui produisent sur celle-ci, en quelque sorte en sens inverse, des effets *analogues* à ceux que produisait primitivement la voix; si bien que les vibrations de la membrane reproduisent *approximativement* les paroles qu'on avait prononcées. L'expérience peut être recommencée avec la même feuille d'étain une ou deux fois au plus, car la plasticité de l'étain est telle que la pointe du style détruit rapidement les aspérités du sillon qu'elle avait tracé, en passant de nouveau sur elles, de sorte que les effets produits s'affaiblissent très rapidement.

Tels sont les effets que nous n'avons pu entendre il y a quelques années, que les membres des sociétés savantes ont pu apprécier, dont le public parisien a été appelé à juger pendant quelques mois tous les soirs dans la salle des conférences du boulevard des Capucines, moyennant finances, ce qui a constitué pour l'importateur de l'instrument très curieux de M. Edison, et sans doute aussi pour celui-ci, une campagne assez fructueuse.

On se souvient encore des élans d'admiration qui se manifestèrent alors dans la presse et dans le public; ce fut un concert de louanges pour l'inventeur, et l'appareil fut considéré pendant quelques mois comme la merveille des merveilles.

Cependant les personnes qui, sur la foi de cet engouement, firent l'acquisition de cet appareil et essayèrent de s'en servir ne furent pas satisfaites; peu à peu on cessa d'en parler, et tandis que le téléphone suit le cours de ses succès, le phonographe, relégué dans les profondeurs des cabinets de physique, reste couvert de la poussière caractéristique des instruments inactifs; on en dit un mot poli dans les cours d'acoustique, et c'est tout.

A quoi cela tient-il? Simplement à ce que la réclame faite autour de l'instrument avait dépassé le but, que l'instrument lui-même ne remplit le but annoncé à grand fracas que très *approximativement*, qu'il ne produit que des effets *analogues* à ceux de la parole, et c'est pourquoi nous soulignions tout à l'heure ces deux mots.

Rien n'est plus facile à démontrer pratiquement. A cet effet, qu'on fasse l'expérience ci-dessus décrite devant une assemblée d'auditeurs quelconques, l'opé-

rateur prononçant devant la membrane et *en présence de l'assemblée* (on va voir pourquoi nous soulignons encore ceci) une phrase très fortement et nettement articulée, ce qui est indispensable à la réussite : lorsque ensuite le cylindre exécute son second mouvement, la membrane fait entendre la même phrase.

Seulement les observateurs attentifs voient : 1° que les articulations semblent fort adoucies et comme émoussées ; 2° que certaines voyelles sont au contraire renforcées et prédominent ; 3° que le *timbre* de la voix, cette qualité spéciale qui fait distinguer la voix d'une personne de celle d'une autre, est tout à fait altéré par une sorte de nasillement désagréable.

Mais ce n'est pas tout : l'altération de la voix est plus grande encore qu'on ne le croit quand l'expérience est faite de cette manière.

Pour s'en convaincre, il suffit de faire la première partie de l'expérience *loin des auditeurs*, de façon à ce qu'ils ne puissent entendre la phrase prononcée par l'opérateur sur la membrane et qui produit le sillon sinueux sur la feuille d'étain. Lorsque ensuite on rapporte l'instrument dans la salle où se trouvent les auditeurs, et qu'on tourne le cylindre, l'effet merveilleux ne se produit plus ; n'ayant pas entendu *à l'avance* la phrase qui devrait être incrustée en quelque sorte sur l'étain, on ne distingue plus aucun *mot*, il n'y a presque plus d'articulations, on n'entend plus qu'une série de voyelles à son nasillards formant comme une sorte d'aboiement continu plus ou moins voilé. Il est extrêmement difficile, même en opérant dans les meilleures conditions, de distinguer quelques articulations, de saisir des bribes de syllabes permettant, à grand effort d'imagination, de reconstituer des mots.

Il y a donc dans l'effet que produit le phonographe, quand on effectue toutes les opérations en présence des auditeurs, une forte part d'illusion : ceux-ci, en entendant les effets incomplets et vagues de l'appareil, reconstituent, sans s'en douter, les consonnes, les articulations, le timbre qui manquent, mais qu'ils ont entendu dans la première phase de l'expérience et qu'ils ont retenu.

Cet effet physiologique, ou psychologique si l'on veut, n'a rien de bien surprenant; et, en tout cas, des effets analogues se produisent dans d'autres circonstances, et plus étranges encore. N'a-t-on pas entendu récemment, à l'Académie de médecine, à propos de la prétendue action à distance des substances médicamenteuses sur les hystériques, M. Brouardel affirmer que lorsque l'opérateur, ayant endormi son sujet, expliquait au public *devant le sujet* endormi, ce qui devait se passer dans les expériences qui allaient être tentées, et leurs résultats, ces résultats étaient toujours obtenus; mais lorsqu'on ne donnait pas d'explications à haute voix, que l'opérateur et le sujet ne connaissaient pas les substances expérimentées, les résultats ne se produisaient plus que de temps en temps et comme au hasard?

Le phonographe ne reproduit donc véritablement que des éléments informes de la parole articulée : l'expérience le prouve avec évidence, et c'est là qu'il faut chercher la cause du discrédit et de l'oubli dans lesquels il est tombé quelques mois après son apparition.

Mais voici que l'inventeur fait annoncer, par une voie extra-scientifique, qu'il a tellement perfectionné son appareil, qu'il peut non seulement reproduire la musique et la voix articulée, mais encore que la sub-

stance sur laquelle il les *incruste* peut être transportée n'importe où et placée sur un appareil semblable à celui sur lequel l'incrustation a été faite, ce qui ne pouvait être évidemment réalisé avec la feuille d'étain de l'instrument primitif; de plus, cette impression de la musique et de la voix pourrait être multipliée à volonté comme une épreuve d'imprimerie, de telle sorte qu'on pourrait bientôt collectionner comme des partitions et des livres des phonogrammes reproduisant des conversations, des témoignages produits devant les tribunaux, des discours, des conférences, la musique d'un orchestre, etc., etc.

Voilà qui est certainement fort beau; mais il s'agit de le réaliser complètement.

On est toujours exposé à un mécompte lorsqu'on vient dire d'une invention seulement annoncée qu'elle ne se réalisera pas, mais on a toujours le droit d'exprimer des doutes; dans le pays de Descartes, le doute méthodique est permis, pourvu qu'il soit réellement *méthodique* et non la négation obstinée et sans raison valable.

Or le doute en cette affaire est raisonnable.

Il suffit, pour justifier cette manière de voir, d'essayer d'analyser le problème de l'impression de la parole articulée en employant les intermédiaires indiqués par M. Edison, une membrane mince, un style fixé à cet membrane et une substance plastique, car tout ceci paraît subsister encore dans le phonographe perfectionné.

Longtemps avant l'invention du phonographe, on s'est servi d'une membrane mince armée d'un style pour inscrire les vibrations d'un corps sonore sur un cylindre tournant recouvert de noir de fumée.

Quand il s'agit des sons musicaux produits par un instrument de musique ou par la voie humaine, le problème est assez simple. Une membrane ne vibre pas à l'unisson de tous les sons, mais la série de ceux qui la mettent en vibration est assez nombreuse, et en tendant plus ou moins cette membrane on peut la faire résonner fortement sous l'action des ondes d'un son quelconque *unique*.

Si on fixe un style léger au centre de la membrane, ce style ne vibre pas non plus sous l'action de tous les sons, mais en lui donnant une longueur convenable on peut le faire vibrer quand la membrane vibre elle-même. Il est vrai que le style ne vibre pas toujours dans un plan; souvent il décrit une surface conique de forme plus ou moins complexe. Néanmoins, en appuyant le style sur un cylindre de façon à produire un frottement assez léger, on n'arrête pas ses vibrations qui se trouvent dessinées sur le cylindre tournant par un *nombre* égal d'ondulations d'une courbe plus ou moins régulière qui caractérise la *hauteur* du son : c'est ainsi que le son du *la* du diapason, par exemple, se trouve caractérisé ainsi par une courbe présentant 435 sinuosités si le cylindre a tourné pendant une seconde.

Mais un son n'a pas seulement une hauteur; il a un *timbre* qui fait distinguer le son d'un instrument de celui d'un autre, le *la* d'un diapason du même *la* donné par un hautbois ou une clarinette. La cause du timbre n'est pas encore parfaitement connue, mais on sait cependant qu'il tient principalement à ce qu'un son est en général une chose complexe et multiple, comprenant en réalité un son principal, dit *fondamental*, accompagné d'une série de sons plus aigus et beaucoup plus faibles superposés au premier, fondus en quelque

sorte avec lui et qu'on nomme les *harmoniques*. La membrane qui reproduit un pareil son se divise spontanément en un certain nombre de parties dont chacune correspond à un harmonique, qui vibrent séparément et simultanément, et le style fixé à la membrane manifeste également cette complexité par une *forme* compliquée de vibration qui peut se reproduire sur le cylindre par des *dentelures* de forme variable qui se manifestent sur la courbe sinueuse simple du son fondamental. Quand le timbre du son est très prononcé et le style d'une longueur quelconque, il arrive que le cône qu'il décrit dans l'espace est d'une forme très complexe; alors il rebondit sur la surface du cylindre et décrit une courbe à dentelures extrêmement compliquées tout en restant assez régulières si le frottement sur le cylindre est toujours le même, condition difficile à remplir.

Enfin, malgré ces complications, un style fixé à une membrane peut encore inscrire un son musical sur un cylindre enfumé en lui conservant suffisamment ses qualités essentielles, sa *personnalité*, si l'on peut ainsi parler.

Mais s'il s'agit pour le style, au lieu d'enlever une couche légère de noir de fumée, de représenter sa *forme vibratoire* complète par une sinuosité *creusée* sur une lame élastique, si mince qu'elle soit, par un sillon matériel ondulé *incrustant* en quelque sorte la trace d'une portion au moins du mouvement du style dans l'espace, trace qui doit se produire au moins dans deux directions, *en profondeur* perpendiculairement à l'axe du cylindre et *obliquement* suivant une inclinaison variable, on conçoit immédiatement la difficulté du problème : on peut entrevoir que le style du phono-

graphe ne puisse le réaliser qu'en partie. Il peut bien en effet produire, dans le sens de la profondeur, un sillon dont le nombre des ondulations est égal au nombre des vibrations du son musical, et reproduire ainsi en passant de nouveau sur ce sillon un nombre de vibrations de la membrane égal à celui qui caractérise le son donné et sa *hauteur;* mais les particularités, les dentelures obliques de forme variable constituant le timbre, on conçoit que le travail qu'il y aurait à faire pour les produire lui soit à peu près impossible, et l'expérience semble bien prouver qu'il en est ainsi, puisque le timbre est si fortement altéré.

Voilà donc une première difficulté que le phonographe ne résout pas.

Mais le problème de la reproduction matérielle de la voix est bien plus complexe encore que celui de la reproduction d'un son simple timbré.

En effet, il suffit de considérer une seule syllabe articulée dans un temps très petit, environ un dixième de seconde : il y a d'abord le son de la voyelle avec sa hauteur et son timbre, source de la difficulté qu'on vient de signaler; il y a de plus l'effet préalable produit par la consonne. Or celui-ci est beaucoup plus compliqué que l'autre; c'est un choc, une sorte d'explosion produite sur l'air qui environne la bouche et se transmet à la membrane : il en résulte ce qu'on nomme un *bruit* qui n'est, en grande partie, autre chose qu'une superposition de sons extrêmement brefs, différents de ceux qui constituent le timbre, et dont la membrane et le style devraient reproduire et imprimer les effets aussi bien que ceux de la voyelle et même *un peu avant* ceux-ci, puisqu'il les précèdent dans l'articulation de la syllabe.

Il y a là, on le voit sans qu'il soit besoin d'insister, une nouvelle difficulté à ajouter à la précédente, et très probablement plus grande encore. Il n'est donc pas surprenant que le phonographe primitif ne la résolve pas, et c'est là certainement la cause de l'absence presque complète d'articulations dans les phrases répétées par cet instrument.

Je crois en avoir assez dit pour faire comprendre la complexité du problème abordé de front il y a quelques années par M. Edison, avec cet audace que la fortune encourage sans doute, suivant le proverbe latin, mais qu'elle ne lui a pas encore permis de résoudre.

A-t-il assez perfectionné son appareil primitif pour y parvenir, en satisfaisant complètement à toutes les conditions indiquées ci-dessus?

Nous ne connaissons de son appareil nouveau qu'une description avec dessins donnés dans le journal *la Nature*. C'est un phonographe bien perfectionné en effet, et singulièrement compliqué. Néanmoins nous aurions essayé de le décrire, si, en même temps que M. Edison faisait annoncer dans les journaux anglais ses nouveaux perfectionnements, nous n'avions appris que depuis plusieurs années M. Sumner Tainter, collaborateur de M. Graham Bell, ayant repris l'étude de la phonographie, avait réussi à faire un grand pas dans la solution du problème d'une manière relativement assez simple.

Son appareil, dont nous avons pu voir récemment, à Paris, le fonctionnement, est moins compliqué que celui de M. Edison : c'est pourquoi nous le décrirons seul, en nous servant de la notice et des dessins que l'inventeur a bien voulu nous adresser.

II

M. S. Tainter a, sinon fait disparaître, du moins atténué beaucoup les trois défauts signalés ci-dessus et que nous rappelons, savoir : 1° les articulations émoussées ; 2° le renforcement de certaines voyelles ; 3° l'altération du timbre par une sorte de nasillement désagréable, semblable à celui qui se produit quand on parle dans un mirliton.

L'amélioration est telle que l'inventeur a pu, à bon droit, donner un nom nouveau à l'appareil, il l'appelle : *graphophone*.

Les perfectionnements sont de deux sortes : les uns sont purement matériels dans le mécanisme de la *transmission* et de la *réception;* les autres sont d'une nature plus délicate et se rattachent aux principes mêmes de la mécanique moléculaire.

Voyons d'abord les premiers (*fig.* 1).

Dans la *transmission*, le cylindre C est très léger ; il est simplement en carton ; il tourne sur lui-même, *sans avancer*, sous l'action d'un moteur à pédale M qui ne fait aucun bruit : c'est la membrane qui se meut, et, à cet effet, elle est fixée à un écrou fileté *e* qui est entraîné par une vis à pas très fin (un demi-millimètre à peine), qui tourne sur elle-même comme le cylindre et parallèlement à lui sous l'action du même moteur ; c'est l'inverse de ce qui se passe dans le phonographe, avec ce grand avantage que le moteur, au lieu d'avoir à mettre en mouvement un cylindre très lourd, n'agit ici que sur des organes légers. La membrane *m* est en mica armé d'un style au centre ; mais au lieu de parler énergiquement, de crier contre elle, directement, comme dans le phonographe, on parle ici avec sa voix

ordinaire, dans un cornet acoustique communiquant par un tube de caoutchouc avec la membrane protégée par une monture.



Fig. 1.

En second lieu, l'inscription ne se fait plus sur une lame d'étain : le cylindre est recouvert d'une couche mince de pâte spéciale formée principalement de cire et de paraffine : pendant que la membrane est entraînée par son écrou le long des génératrices du cylindre

qui tourne en même temps sur lui-même, une petite *arête* métallique perpendiculaire à ces génératrices, fixée par des bras au support de la membrane à côté du style, lui prépare en quelque sorte la voie en traçant un sillon hélicoïdal; c'est dans ce sillon qu'au tour suivant le style, sous l'action des ondes sonores produites dans le tube acoustique par la voix, trace des sinuosités, des *broderies*, si l'on peut ainsi dire, en rapport aussi complet que possible avec la complexité produite dans la *forme* de ces ondes par la *superposition* des harmoniques qui caractérisent le *timbre*, et par les petites explosions, résultat de l'*articulation* des consonnes : on verra plus tard pourquoi je souligne ces divers mots; mais, dès à présent, on comprend que la plasticité de la pâte employée étant supérieure à celle de l'étain, et le style n'ayant pas à effectuer le travail nécessaire pour creuser le sillon en quelque sorte préliminaire où il doit se mouvoir, ce style peut effectuer des mouvements plus complexes verticalement, horizontalement et obliquement, ce qui permet une excitation beaucoup moins forte de la part de la voix. Ainsi, d'une part, on favorise la reproduction de mouvements très délicats et compliqués, et, d'autre part, on évite la nécessité de crier dans l'appareil, l'un des inconvénients insupportables du phonographe.

Ajoutons, pour terminer ce qui est relatif à la transmission, que la longueur du cylindre et de la vis qui guide la membrane est d'environ 15 à 16 centimètres; le diamètre du cylindre est de 2 à 3 centimètres : le mouvement est assez lent pour qu'on puisse parler pendant quatre ou cinq minutes avant que la membrane ait parcouru sa course; enfin, l'inscription terminée, il faut avoir soin d'enlever avec un pinceau les

fines bavures et les résidus très légers laissés sur les bords du sillon hélicoïdal tracé par l'arête et le style.

Passons maintenant à la *réception* (*fig.* 2).

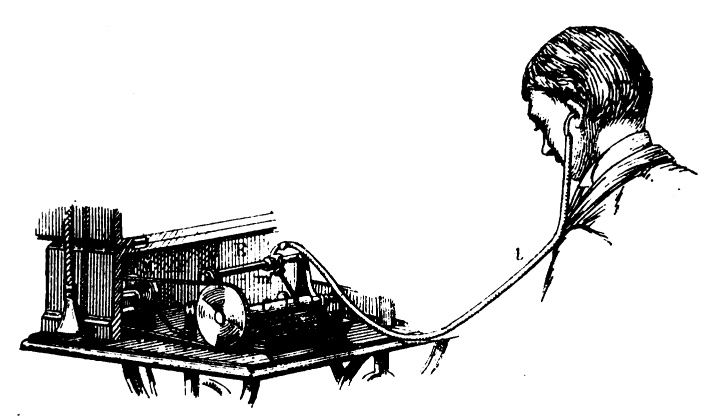


Fig. 2.

Dans le phonographe, c'est l'organe inscripteur lui-même, le style, qui repasse sur les sinuosités qu'il a formées ; nous avons indiqué plus haut l'inconvénient de cette manière de procéder; la rigidité du style efface rapidement les traces qu'il a produites. De plus, si cette rigidité pouvait être surmontée pendant la transmission par suite de l'énergie des ondes de la voix qui constituait alors un moteur relativement puissant, à la réception le moteur est formé par la suite des aspérités qui viennent agir successivement sur la pointe du style dans le sillon qui se déroule sous lui, et les effets en sont naturellement beaucoup moins énergiques : la logique aurait exigé qu'à des organes moteurs beaucoup plus faibles, on exposât un organe récepteur beaucoup moins rigide. C'est ce qu'a fait M. Tainter en employant un récepteur différent de l'inscripteur et sacrifiant, avec raison, l'unité des organes de la trans-

mission et de la réception pour les rendre l'un et l'autre plus aptes à la fonction qu'ils doivent remplir, pour les adapter mieux aux modes d'excitation différents qui leur sont appliqués, et en tirer ainsi de meilleurs effets.

Pour cela, l'organe de réception du graphophone est formé d'une membrane, *m'*, beaucoup plus petite que la membrane de transmission, supportant un levier très léger *l* de 6 à 7 centimètres de longueur recourbé à son extrémité : le tout, sauf cette extrémité qui dépasse de 2 ou 3 millimètres, est protégé par une sorte de fourreau en métal mince et fixé à un écrou tout semblable à celui du transmetteur, qui permet de substituer sans difficulté le récepteur au transmetteur sur la vis conductrice immédiatement après l'inscription. La pointe de ce levier amplificateur étant placée sur le cylindre au point où le mouvement du transmetteur a commencé, on recommence à mettre le moteur en action. Les sinuosités que le style inscripteur a tracées se présentent successivement sous le levier et agissent sur lui; ses mouvements sont transmis à la petite membrane; celle-ci transmet les siens à l'air ambiant; on recueille les ondes dans un tuyau en caoutchouc double terminé par deux tuyaux métalliques disposés de façon à être introduits dans les deux oreilles.

On comprend bien qu'un système aussi léger et aussi complexe offre, pour pouvoir reproduire des mouvements aussi délicats que ceux qui peuvent résulter de la forme compliquée des fines sinuosités du sillon tracé dans la cire, des ressources beaucoup plus grandes que le style court et rigide et la large membrane du transmetteur.

Et c'est effectivement ce qui arrive : le résultat ob-

tenu est bien supérieur à celui qu'on obtenait du phonographe. Les trois défauts signalés plus haut sont à peu près corrigés : les articulations sont beaucoup plus nettes, les diverses voyelles sont reproduites avec beaucoup plus d'égalité; enfin le timbre, sans être absolument reproduit, l'est beaucoup mieux que dans le phonographe, et le nasillement insupportable de celui-ci a presque disparu. On a gagné en finesse, délicatesse des inflexions, perfection des articulations, ce qu'on a perdu en intensité; mais le problème à résoudre n'est pas d'abord de faire entendre à tout un auditoire, à distance, des paroles grossièrement reproduites, sans articulations nettes et avec le timbre de la voix de polichinelle, c'est de reproduire ces paroles à l'oreille d'un auditeur avec la perfection de leurs inflexions, si c'est possible, et avec une intensité suffisante pour qu'il les entende nettement, sans tension d'esprit et d'attention fatigante. Or j'ai constaté à diverses reprises que l'intensité obtenue dans le graphophone était le plus souvent trop forte lorsqu'on a les deux tubes acoustiques à l'intérieur des deux oreilles; un seul suffit, si la transmission a été nette, en bouchant l'oreille qui n'est pas utilisée pour la réception.

J'ai constaté également : en premier lieu, que l'on pouvait faire avec le graphophone l'expérience qui est si défavorable au phonographe : on peut faire parler dans le transmetteur placé dans une salle éloignée de celle où se trouve l'auditeur ; quand celui-ci écoute ensuite, les paroles prononcées sont assez nettes, les phrases se comprennent, le timbre de la voix d'une personne connue d'avance se reconnaît, pourvu qu'elle ait prononcé les mots nettement avec une force moyenne. Avec le phonographe, il est rare que le ré-

sultat de cette expérience ne soit pas mauvais.

En second lieu, en écoutant au récepteur après une dizaine d'opérations faites sur le même cylindre, les résultats de l'inscription sur la pâte de cire ne paraissent pas sensiblement altérés; la réception paraissait aussi nette que la première fois; l'intensité semblait la même, et il est permis de croire que, conformément aux affirmations de l'inventeur, le même cylindre pourrait opérer ainsi des centaines de transmissions successives, résultat tenant à la perfection, à la légèreté des organes et à leur bonne adaptation, qui n'a pas grand intérêt au point de vue de la science pure, mais qui peut en avoir beaucoup au point de vue des applications.

Enfin il va sans dire que le chant, la musique sont reproduits par l'appareil avec une grande fidélité : les ondes sonores produites par les sons musicaux sont beaucoup moins complexes que celles de la parole articulée, et agissent par suite plus simplement sur les organes mécaniques soumis à leur action.

On a exposé ainsi la plupart et les principaux des perfectionnements *matériels* apportés par M. Tainter au phonographe primitif, dans la construction des divers organes et dans leurs relations mutuelles: mais j'ai dit qu'il y en avait un autre d'une nature plus délicate et se rattachant aux principes mêmes de la mécanique moléculaire. Ce point est plus difficile à exposer.

Supposons, pour simplifier, qu'il s'agisse d'inscrire sur le cylindre du graphophone l'effet produit par une seule syllabe articulée seulement. Le centre de la membrane du transmetteur et, par suite, le style reçoivent un mouvement très complexe: en effet, il provient de l'onde résultant du son fondamental de la

voyelle ; de celles qui proviennent des harmoniques de ce son, qui en caractérisent le timbre, et il y en a trois ou quatre qui ont une intensité sensible; de celles qui résultent de l'explosion due à l'articulation de la consonne, explosion qui est, en somme, un *bruit*, c'est-à-dire un composé de plusieurs sons en nombre inconnu et que nous réduirons à trois ou quatre, si l'on veut. Le mouvement du style peut donc être considéré comme provenant des effets d'une dizaine d'ondes au moins , toutes différant les unes des autres, si on pouvait les considérer isolément, quant à leur intensité, à leur forme, au nombre des vibrations des molécules qui les composent : tout cela se rapporte aux mots soulignés plus haut.

Quel peut être le résultat définitif de ces effets multiples superposés les uns aux autres ? *A priori*, on ne le voit pas et on doit supposer qu'il est très complexe, très bizarre et qu'il n'est soumis à aucune loi.

Il n'en est rien pourtant. Qu'on veuille bien réfléchir en effet, par exemple, aux effets produits par les sons d'un orchestre sur la membrane du tympan d'un auditeur. Pourvu que celui-ci soit assez éloigné pour que les effets *ne soient pas trop forts*, ces effets sont très agréables (si l'orchestre est bon) : les ondes de nature si diverse qui sont émises se croisent dans l'espace dans tous les sens, sans se confondre, sans s'entre-détruire, et viennent en un point quelconque combiner leurs effets suivant une loi simple d'addition ou de soustraction en ce qui concerne leurs amplitudes, en présentant une forme spéciale résultant de la forme des ondes élémentaires combinées.

Prenons un autre exemple. Examinons les vagues de la mer un jour de tempête dans le voisinage d'une

digue : nous voyons des ondulations d'une grande amplitude arriver en tous sens, se briser les unes contre les autres et contre celles qui sont renvoyées par les murs de la digue après réflexion, et cela sans règle, sans loi appréciable, sans effets qui puissent être déterminés d'avance. Supposons que la tempête se calme peu à peu : au fur et à mesure que l'amplitude des vagues diminue, la complexité qui résultait de leur rencontre diminue; on voit certains effets se reproduire bientôt régulièrement, et quand les vagues deviennent *très petites*, comme des rides à la surface des flots on voit se réaliser ce qui se passait, sans qu'on le vît, dans les ondes aériennes considérées tout à l'heure; les vagues directes et les vagues réfléchies se croisent de toutes parts sans se confondre en produisant en chaque point de la mer une forme d'onde spéciale et un mouvement périodique résultant de la combinaison simple des ondes qui s'y croisent en même temps. On voit des effets du même genre en laissant tout simplement tomber plusieurs pierres dans une eau tranquille en des points différents.

Ces faits, et bien d'autres de la même espèce, satisfont à une loi très générale de la mécanique due à Bernouilli, et qu'on nomme la loi de *la superposition des petits mouvements* ou de la *coexistence des petites oscillations*, dus aux forces naturelles. Elle consiste en ce que dans tout corps soumis à l'action des forces naturelles, si on provoque des oscillations ou des mouvements très petits, ces oscillations et ces mouvements peuvent coexister et se croiser sans se nuire en chaque point, et leur effet résultant s'obtient par la composition simple par addition ou soustraction, suivant les sens, des mouvements élémentaires.

Cette loi remarquable est d'autant plus applicable que les mouvements sont *plus petits :* les *qualités* propres à chacun des mouvements simples sont également reproduites dans le mouvement résultant avec d'autant plus de perfection que ces mouvements sont plus petits. Les corps solides, membranes, tiges, styles métalliques, bois, murs, etc., sont éminemment propres à réaliser l'application de la loi générale.

C'est précisément là la cause principale des merveilleux effets des téléphones quand leurs membranes en fer ne sont pas trop minces ; c'est l'une des raisons pour lesquelles le nasillement se produit dans ces instruments quand les plaques sont trop minces, les mouvements transversaux qui s'y développent étant alors relativement trop grands, et la *qualité* correspondant au timbre des sons étant alors altérée. Et l'on voit que la reproduction de la parole avec ses inflexions, ses délicatesses et son timbre, est d'autant plus parfaite que les plaques sont plus épaisses et que, par suite, les mouvements possibles sont plus petits; malheureusement, l'intensité des sons diminue rapidement quand l'épaisseur augmente; mais il n'en saurait être autrement.

Les propriétés du microphone tiennent à la même cause : la perfection avec laquelle il conserve à la voix toutes ses qualités provient principalement de ce que les mouvements de ses organes et les variations électriques qui en résultent sont très petites.

Dès lors n'est-il pas permis de penser que la grande supériorité du graphophone sur le phonographe tient aussi, indépendamment des perfectionnements apportés aux organes mécaniques, à ce que l'*intensité* des effets y a été franchement sacrifiée à leur qualité,

qu'on s'y borne à y produire et à y recevoir des mouvements *très petits*, et qu'on s'y place par conséquent dans les meilleures conditions pour satisfaire à la loi générale de Bernouilli?

Je crois que ce point de vue n'est pas négligeable pour l'explication des remarquables effets obtenus dans ce bel appareil, conçu et exécuté avec un sens physique et mécanique des plus fins et des plus délicats. Le beau problème de la reproduction mécanique de la parole articulée vient ainsi de faire un pas décisif, et si la solution n'atteint pas encore la perfection, elle est véritablement satisfaisante.

III

La société qui s'est constituée pour l'exploitation de cet instrument fonde sur lui les grandes espérances conçues par M. Edison et que nous avons indiquées plus haut : l'expérience nous permettra de décider à cet égard.

En attendant, il m'a paru que si la théorie exposée ci-dessus est exacte, si la reproduction de la parole articulée par des procédés phonographiques est d'autant meilleure que les effets mécaniques produits sont plus petits, il devait être possible de faire subir aux ondes aériennes produites à la *réception* par la membrane de l'appareil une transformation d'énergie permettant, malgré la perte qui en résulte nécessairement, de transmettre les effets phonographiques à distance.

A cet effet, n'ayant pas encore un graphophone à ma disposition, j'ai pris un ancien phonographe de M. Edison, à membrane de fer; j'en ai fait modifier la monture de façon à pouvoir ajouter sur elle un téléphone dont le diaphragme était retiré, et de façon

que les pôles de l'aimant du téléphone fussent très près de la membrane du phonographe qui lui sert alors de diaphragme.

Après avoir parlé très fortement sur cette membrane, surmontée de son cornet acoustique, et produit à la manière ordinaire le gaufrage de la feuille d'étain, on enlève le cornet acoustique et on lui substitue le téléphone mis en communication par un double fil avec deux autres téléphones devant servir d'écouteurs.

Lorsqu'alors on fait tourner le cylindre de l'appareil, comme on le fait quand on veut reproduire les paroles prononcées, on les entend très bien à distance dans les téléphones récepteurs plus faiblement sans doute, mais plus nettement qu'à la manière ordinaire. La reproduction se fait, il est vrai, avec les défauts signalés plus haut de l'ancien phonographe de M. Edison, mais en employant soit le phonographe perfectionné de M. Edison, soit le graphophone de M. S. Tainter, la même reproduction à distance serait certainement possible, et elle serait beaucoup meilleure.

J'ai essayé de voir si la perte d'énergie, qui résulte ainsi de la transformation de la membrane du phonographe en téléphone pour *la réception*, n'était pas trop grande pour qu'on pût substituer un microphone au téléphone.

En employant un microphone ordinaire à diaphragme en bois muni de quatre tiges légères de charbon de 3 millimètres de diamètre, et dont le fil primaire de la bobine d'induction était dans le circuit d'une pile de trois éléments de Lalande et Chaperon, les résultats obtenus dans les téléphones, placés à la manière ordinaire dans le circuit du fil secondaire, ont été les mêmes qu'avec le téléphone transmetteur, mais plus

intenses ; ils étaient, il est vrai, compliqués d'un bruissement résultant des mouvements transmis au microphone par le socle qui le supporte quand on fait tourner le cylindre à la main; mais il est facile de faire disparaître cet inconvénient par une construction plus rationnelle et plus soignée du phonographe. Il n'existerait certainement pas avec le graphophone de M. Tainter, convenablement modifié pour ajuster un microphone à la membrane réceptrice.

Ces essais, qui datent des mois de septembre et octobre 1888, seront continués, dès que je pourrai avoir à ma disposition l'un de ces instruments, dont un seul exemplaire existe actuellement en France et est déposé au Conservatoire des Arts et métiers. E. MERCADIER.

1er février 1888.

Ce travail a été rédigé lorsque j'ai appris que M. Edison, à l'aide de son phonographe perfectionné, venait de réaliser la transmission télégraphique de la parole articulée.

D'après *The Telegraphic Journal and Electrical Review* du 8 mars 1889, M. W. J. Hammer, le 4 février dernier, devant le *Franklin Institute* de Philadelphie, après avoir inscrit sur le nouveau phonographe de M. Edison des paroles et des airs, les aurait transmis à New-York sur une ligne de 165 kilomètres, et on aurait pu à l'arrivée les inscrire de nouveau sur un autre phonographe de façon à les faire entendre à un nombreux auditoire.

A cet effet, après l'inscription faite sur le phonographe transmetteur, en tournant une seconde fois le cylindre comme pour la réception, les ondes sonores produites dans l'air seraient recueillies, transmises à un microphone à charbon d'Edison, et par suite à la ligne télégraphique embrochée dans le circuit secondaire; c'est la première partie de l'opération.

Dans la deuxième partie, on recevrait la transmission à l'autre bout de la ligne dans un *électromotographe* d'Edison constitué par un cylindre de chaux et une lame-frotteur en platine. L'intensité du frottement variant avec le courant qui arrive de la ligne télégraphique, il en résulte des vibrations de la lame transmises à l'air environnant. Au lieu de les recevoir ainsi simplement, on aurait pu les faire inscrire sur un second phonographe, les transmettre ensuite à l'air, puis à un second microphone, puis à un second électromotographe; et, enfin, de nouveau, à l'air et aux oreilles de nombreux auditeurs.

Il y a certainement lieu de faire les réserves les plus expresses sur cette seconde partie de la transmission *téléphonographique*, qui pourrait se réduire, au point de vue télégraphique, à la réception dans deux écouteurs téléphoniques. Ainsi réduit, on voit que j'ai résolu le problème de cette transmission très simplement, il y a six mois, avec l'ancien phonographe, malgré ses imperfections.

10 mars 1888. E. M.



INAUGURATION DE LA STATUE D'AMPÈRE

A LYON

DISCOURS PRONONCÉ AU NOM DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Par M. A. CORNU.

Désireuse d'honorer la mémoire d'un de ses plus glorieux enfants, la ville de Lyon vient d'élever à Ampère une statue qui a été inaugurée le 8 octobre dernier. L'Académie des sciences avait chargé M. Cornu de la représenter à la cérémonie d'inauguration et d'y prendre la parole en son nom. Les *Annales télégraphiques* se font un devoir de reproduire le discours de l'éminent membre de l'Institut, éloquent et chaleureux hommage rendu au grand géomètre et au grand physicien dont les découvertes dominent aujourd'hui la télégraphie tout entière.

Messieurs,

Il est, dans l'histoire des sciences, des noms dont l'éclat va grandissant avec les années à mesure que les générations comprennent davantage la grandeur et la fécondité des œuvres auxquelles ces noms sont attachés.

André-Marie Ampère est de ceux-là.

Né à Lyon, le 22 janvier 1775, votre illustre compatriote montra de bonne heure une intelligence merveilleuse jointe à une prodigieuse mémoire, il apprit tout de lui-même.

Son père, qui devait périr victime des passions san-

guinaires de l'époque, témoin de son ardeur pour l'étude, empressé à la satisfaire, avait deviné son génie : « Quant à mon fils, il n'y a rien que je n'attende de lui », écrivait-il, la veille de sa mort, dans ses derniers adieux à sa femme, le 23 novembre 1793.

L'avenir justifia cette clairvoyance paternelle.

C'est vers les mathématiques transcendantes qu'Ampère tourna d'abord sa vive intelligence ; son premier travail : *Considérations sur la théorie mathématique du jeu*, qui renferme la solution d'un problème difficile de calcul des probabilités, porte déjà l'empreinte d'un esprit vigoureux et profond. C'est pourtant au milieu des préoccupations les plus douloureuses d'avenir et de famille qu'il le composa, à Bourg, à l'école centrale du département de l'Ain, où il fut professeur de physique et de chimie, en 1802 et 1803.

Ce premier mémoire attira vivement l'attention de Delambre, chargé avec Villar de recruter le personnel enseignant des lycées qu'on allait créer : un second travail, *Sur l'application du calcul des variations à la mécanique*, composé bientôt après, acheva de lui conquérir la protection de Delambre et le fit sortir de la situation pénible où il vivait à Bourg. On le nomma professeur de mathématiques au lycée de Lyon.

Ampère était au comble de ses vœux ; il pouvait revenir auprès de son jeune enfant, Jean-Jacques, qui devait être plus tard le spirituel académicien, et de sa femme, dont la santé déclinait chaque jour.

Il revint donc plein d'espérance, mais son bonheur ne fut pas de longue durée ; la mort lui ravit celle qu'il chérissait tant et le plongea dans un désespoir profond.

Le séjour de Lyon, qu'il avait si ardemment désiré, lui devint insupportable : il voulut le quitter pour fuir

de tristes souvenirs et chercher ailleurs l'aliment d'une imagination ardente et toujours inquiète.

Heureusement, ses protecteurs, Lalande, Delambre et Laplace, le firent appeler à Paris comme répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. Là, partageant son temps entre les philosophes et les mathématiciens, il reprit goût peu à peu à ses travaux et conquit bientôt l'estime du monde savant par la profondeur de ses vues, la richesse et la variété de ses conceptions.

Dès 1808, il fut nommé inspecteur général de l'Université et, en 1809, professeur à l'École polytechnique du cours d'analyse et de mécanique, dont il avait exercé souvent la suppléance.

Enfin l'Académie des sciences l'appela dans son sein, le 28 novembre 1814, comme membre de la section de géométrie.

De nouveaux mémoires concernant les questions les plus élevées des mathématiques, en particulier l'*Intégration des équations aux dérivees partielles* (1816), le portèrent au premier rang parmi les plus grands géomètres; mais ces beaux travaux n'étaient que le prélude de découvertes plus importantes : de grand géomètre il devint physicien plus grand encore et c'est à ce titre que la postérité entoure son nom d'une brillante auréole.

Dans les premiers jours du mois de septembre 1820, l'Académie des sciences apprenait le fait le plus curieux qu'on eût découvert en électricité depuis les travaux de Galvani et de Volta; un physicien danois, Œrstedt, avait trouvé que le fil conjonctif des pôles d'une pile voltaïque agissait sur l'aiguille aimantée; l'action, il est vrai, paraissait bizarre, et le savant danois avait un peu obscurci la netteté de l'expérience par les explications singulières qu'il tenait à y mêler.

Quelques jours après, Ampère vient compléter cette belle découverte en précisant toutes les conditions de l'expérience : le premier, il définit le *courant électrique*, lui donne une direction, le personnifie et résume le phénomène en une règle justement célèbre ; le *pôle austral est dévié à la gauche du courant :* l'électro-magnétisme était constitué. Mais ce n'est pas tout : avec une rare perspicacité, Ampère signale dans ces mouvements de l'aiguille d'Œrstedt la solution d'un grand problème, entrevue si souvent depuis près d'un siècle par les physiciens de tous pays : ces mouvements de l'aiguille sont des signaux pouvant représenter des lettres, le fil conjonctif prolongé doit les transmettre instantanément à toute distance : la télégraphie électrique est définitivement inventée.

Désormais Ampère applique toute la puissance de son esprit à l'étude de l'électro-magnétisme : à chaque séance de l'Académie, il apporte des découvertes nouvelles : la sagacité du physicien n'a d'égale que sa fécondité.

Coup sur coup, il annonce la réciprocité de l'action des aimants sur les courants, la direction d'un courant mobile par le magnétisme terrestre, l'action réciproque des courants (créant ainsi une nouvelle branche de science, l'*Électro-dynamique*), et finalement l'identification complète des courants et des aimants.

Ce fut, en quelques semaines, une véritable révolution dans la physique : le magnétisme qu'on s'efforçait de séparer de l'électricité cessait d'être un agent distinct ; les propriétés magnétiques, singulier apanage du fer et de l'acier, devenaient un phénomène général commun aux conducteurs de toute nature. Ampère découvrait en même temps la forme à donner à ces con-

ducteurs pour reproduire le plus fidèlement possible les propriétés des aimants : c'est le cylindre électro-dynamique ou solénoïde, qu'on réalise en pliant un fil métallique en hélice à spires serrées : traversée par un courant, l'hélice présente à ses deux extrémités des pôles de noms contraires ; suspendue librement, elle marque le nord comme une boussole, et tant que le courant l'anime, rien ne la distingue d'un véritable aimant.

Il ne restait plus qu'un pas à faire pour arriver à l'organe électrique dont l'invention aura les conséquences les plus extraordinaires dans la science et l'industrie.

Ce grand pas, Ampère et Arago le franchirent dans l'expérience mémorable où les deux illustres amis eurent l'idée d'introduire un barreau de fer doux dans l'hélice électro-dynamique. L'électro-aimant était inventé !

Nulle invention, depuis celle de l'imprimerie, n'eut plus d'influence dans le monde que celle de l'électro-aimant : c'est lui l'organe essentiel de toutes les applications électriques, c'est par lui que tous les progrès ont été accomplis.

Si l'électricité est la messagère rapide et fidèle de la société moderne ; si cet agent mystérieux rend les services les plus extraordinaires et les plus variés par le télégraphe, le téléphone, par ces machines puissantes qui semblent avoir enchaîné la foudre ; si d'un bout du monde à l'autre nous pouvons transmettre la pensée, la parole même, ainsi que la lumière et la force, c'est à l'électro-aimant, c'est en définitive au solénoïde d'Ampère que nous le devons, car il est là, partout où s'accomplit l'un de ses prodiges.

Voilà les riches moissons que le génie de votre compatriote nous a permis de recueillir ; mais son œuvre ne s'est pas bornée à préparer ces applications dont nos générations sont si friandes; dans des régions plus élevées, moins accessibles aux regards de la foule, dans le domaine des lois mathématiques qui président aux phénomènes, Ampère a semé le germe de richesses plus grandes encore et que le temps fait lentement fructifier; il a, par un effort inouï de puissance et de sagacité, arraché à la nature un de ses plus intimes secrets en découvrant la loi élémentaire qui régit toutes les actions mécaniques produites par l'électricité.

Lorsque Arago, voulant peindre l'admiration qu'il ressentait pour l'œuvre de son ami, s'écriait devant l'Académie des sciences : « On dit les lois de Képler, on dira les lois d'Ampère, » il entrevoyait le jugement de la postérité.

Mais le témoignage suprême d'admiration lui est venu de l'étranger, de la patrie de Davy et de Faraday ; un illustre savant anglais, Maxwell, a osé dire : « Ampère est le Newton de l'électricité ! »

Le nom de notre grand physicien méritait donc à tous égards de devenir populaire; il l'est devenu, en effet, depuis le jour où, par un hommage délicat à la mémoire des grands hommes qui ont le plus contribué au progrès de la science électrique, Volta, Ohm, Ampère, Faraday, Coulomb, les électriciens de tous les pays, réunis en congrès, ont décidé que ces noms serviraient à désigner les unités diverses; et depuis, dans le monde entier, le nom d'Ampère, synonyme d'unité de courant, est prononcé par des milliers de bouches dans les laboratoires des savants et jusque dans les plus modestes ateliers.

Après l'exposé de ces admirables découvertes, que dire de ces travaux, relégués au second plan dans l'œuvre d'Ampère, mais dont chacun eût suffi à immortaliser un nom ?

Doit-on oublier que la première machine d'induction à courant continu a été construite par Pixii, en 1832, sous la direction d'Ampère qui venait d'exposer, dans son cours du Collège de France, la mémorable découverte de Faraday ? Peut-on ne pas rappeler que la chimie lui doit l'une de ses conceptions les plus fécondes, cette grande loi des volumes gazeux sur laquelle l'école atomique a fondé la chimie moderne ? Enfin, serait-il juste de laisser dans l'ombre ses mémoires d'histoire naturelle, ses travaux sur la philosophie des sciences et sa classification des connaissances humaines ? Qu'il suffise ici d'avoir nommé ces nouveaux titres à l'admiration des hommes et qu'il soit permis de proclamer que tour à tour, géomètre, physicien, chimiste, naturaliste, philosophe, Ampère a laissé une trace ineffaçable partout où il a appliqué les efforts de son puissant esprit.

Ce profond penseur, ce génie universel, le plus souvent absorbé dans ses méditations et planant si haut au-dessus des misères terrestres, aurait eu le droit de porter avec orgueil l'éclat de son immense savoir et la gloire de ses découvertes incomparables ; il fut, au contraire, modeste, timide jusqu'à la gaucherie, bon et affectueux comme les âmes simples, et, comme elles, subit toutes les vicissitudes humaines.

Après la mort affreuse de son père qui plongea sa jeunesse dans un désespoir où sa belle intelligence parut sombrer un instant, il revint peu à peu à la vie pour s'épanouir bientôt dans des rêves de poésie et de

tendresse. Lui-même a tracé jour par jour, sur des pages à demi couvertes d'algèbre, le récit naïf des émotions de son cœur de vingt ans, idylle charmante couronnée en août 1799 par son mariage avec M[lle] Julie Caron.

Le même charme de tendresse et de dévouement se retrouve dans les lettres qu'il écrivait à sa femme presque mourante et restée à Lyon avec son fils Jean-Jacques.

Le cœur se serre à la lecture de ces pages touchantes en voyant celui qui devait être le grand Ampère obligé de s'exiler à Bourg et de consumer misérablement les plus belles années de sa jeunesse pour gagner le pain quotidien de deux êtres chéris ; après cette douloureuse épreuve, quand le bonheur semblait lui sourire, survint en juillet 1803 la mort de celle qu'il avait tant aimée ; puis une nostalgie profonde, après son départ de Lyon ; les déchirements d'une seconde union dans laquelle il s'était laissé engager en 1807; les angoisses d'une âme ardente, passionnée pour l'absolu, cherchant tour à tour dans la théologie et la métaphysique un repos qui le fuyait sans cesse ; enfin, à toutes ces inquiétudes s'ajouta celle d'une santé altérée ; un séjour de quelques mois dans le midi parut lui rendre les forces, mais ce fut pour peu d'années; il reprit, non sans de tristes pressentiments, ses tournées d'inspection générale et s'éteignit, à Marseille, le 10 juin 1836.

En rapprochant l'œuvre d'Ampère du sombre tableau de sa vie intime, on se demande comment tant d'admirables travaux ont pu être accomplis et quelle force d'âme il a fallu à ce prodigieux génie pour parvenir, malgré les amertumes dont il fut abreuvé, à élever si haut ses pensées dans les régions sereines de la science.

Permettez-moi, au nom de l'Académie des sciences, que vous avez bien voulu convier à ces fêtes pour rendre hommage à la mémoire du grand physicien lyonnais, de féliciter le corps municipal et la ville de Lyon de leur heureuse inspiration et d'applaudir aux sentiments qui ont présidé à l'organisation de cette solennité.

Vous avez compris sans doute, Messieurs, qu'après avoir répandu à pleines mains les bienfaits de l'instruction populaire, qu'après avoir élevé et doté ces belles institutions d'enseignement supérieur qui sont l'honneur de votre cité, il restait encore quelque chose à faire.

Il restait, pour couronner votre œuvre, à élever les regards de vos concitoyens vers cet idéal de science et de désintéressement que personnifie si bien votre illustre compatriote, de proposer comme modèle à vos fils cette puissante et généreuse nature, d'exalter sa mémoire et de perpétuer, par un monument digne de lui, le souvenir de ses admirables découvertes.

En élevant une statue à André-Marie Ampère, l'un de ses plus glorieux enfants, la ville de Lyon, déjà au premier rang par l'intelligence et le travail, donne le plus beau témoignage de ses aspirations généreuses et montre quel prix elle attache à la part qui lui appartient dans le patrimoine de nos gloires nationales.



CHRONIQUE.

Nouveaux alliages à résistance électrique constante.

Lorsque la température des conducteurs électriques subit des variations considérables, leur résistance électrique varie aussi, mais irrégulièrement (certains appareils de mesure sont basés sur les variations de métaux bien étudiés). En cherchant à vaincre les difficultés résultant de ces changements, M. Edward Weston a découvert deux nouveaux alliages dont la résistance électrique est constante, malgré les changements de température qu'ils subissent.

Il a trouvé que le manganèse présente une résistance spécifique élevée, beaucoup plus grande que celle des alliages dans lesquels il entre comme constituant. Un alliage de cuivre et de manganèse donne un conducteur à résistance électrique indépendante de la température, et s'obtient par le procédé ordinaire, qui consiste à fondre les deux métaux. En pratique, M. Weston préfère employer le ferro-manganèse, dont le prix est peu élevé, et il forme un alliage renfermant 70 parties de cuivre et 30 de ferro-manganèse, qui peut être laminé, étiré et tréfilé à la manière ordinaire.

M. Weston a aussi découvert un autre alliage dont la résistance diminue lorsque la température augmente, propriété qui n'avait pas encore été observée dans les conducteurs métalliques. Cet alliage est formé de cuivre, de manganèse ou de ferro-manganèse et de nickel. Pour obtenir une résistance exactement compensée, dit l'*Électricien*, M. Weston constitue un rhéostat en deux parties, l'une formée de maillechort ou de cuivre, l'autre d'un alliage renfermant de 65 à 70 parties de cuivre, 25 à 50 de ferro-manganèse et 2,5 à 10 de nickel.

(*Revue internationale de l'électricité*, 5 novembre 1888.)

BIBLIOGRAPHIE

La Télégraphie historique, par Belloc. (Firmin Didot, éditeur.)

M. Belloc, à qui l'on doit déjà une excellente *Histoire des postes*, s'est épris de l'idée de poursuivre une étude analogue en ce qui concerne la télégraphie. Dans cette question assez ardue, où les documents historiques font souvent complètement défaut, la voie avait été quelque peu tracée, à deux points de vue différents, par Claude Chappe, dans son *Histoire de la télégraphie*, et par M. Gerspach dans son *Histoire de la télégraphie aérienne en France.* M. Belloc a agrandi le cadre de leurs études et appelé *Télégraphie historique* plutôt que *Histoire de la télégraphie* le résultat de ses recherches qu'il vient de publier.

Passant en revue les modes divers de manifestation de la pensée au loin, il laisse généralement le côté technique de côté et met en lumière l'influence de la télégraphie sur les événements aux différentes époques, il envisage le côté commercial, social, politique et gouvernemental aux différentes phases des perfectionnements successifs de cette institution.

Écrite dans un style facile, élégant et clair, la *Télégraphie historique* a condensé des matériaux nombreux dont la recherche n'est pas sans avoir coûté beaucoup de labeur à M. Belloc. De ces éléments épars et arides, n'ayant isolément qu'une signification restreinte, il a fait un tout plein d'enseignement qu'il a su lier et expliquer de la manière la plus heureuse et la plus attrayante. C'est donc un livre très étudié et utile au premier chef que la *Télégraphie historique*, et sa place est dans la bibliothèque de tous les télégraphistes.

E. Jacquez.

Traité théorique et pratique d'électrochimie, par Donato Tommasi, docteur ès sciences. (Bernard et Ce, éditeurs.)

Sous ce titre, M. D. Tommasi a rassemblé une quantité de renseignements touchant à l'électro-chimie et disséminés jus-

qu'ici dans les publications scientifiques. Ce travail considérable, conçu dans un but exclusivement pratique, laisse de côté la discussion des théories émises en cette matière et présente aux industriels, aux chimistes, aux électriciens pour lesquels il a été entrepris, un riche répertoire des faits connus. Les documents présentés séparément en articles indépendants offrent un réel intérêt et seront utiles à consulter. Dans le premier fascicule qui vient de paraître, les recherches sont un peu difficiles par suite de l'absence de tables; mais cette lacune sera évidemment comblée à la fin de la publication, qui doit comprendre encore trois fascicules nouveaux.

Traité pratique d'électricité industrielle, par MM. Cadiat et Dubost. (Baudry et Cie, éditeurs.)

MM. Cadiat et Dubost viennent de faire paraître, à la librairie Baudry, la 3e édition de leur *Traité pratique d'électricité industrielle*, auquel ils ont apporté de nombreuses modifications pour le mettre au courant des derniers progrès réalisés dans les diverses applications électriques. Cet ouvrage est divisé en six parties.

La 1re partie contient un exposé élémentaire et complet à la fois des *principes généraux de la théorie* de l'électricité et du magnétisme, des *unités C. G. S.* et des *unités pratiques*, enfin la description des *instruments et des méthodes de mesure électrique.*

La 2e partie est consacrée aux *appareils producteurs d'électricité :* piles, machines électriques et accumulateurs.

La 3e partie traite de l'*éclairage électrique*. La description des divers foyers lumineux et des systèmes de distribution d'éclairage est suivie de nombreux exemples d'installations privées ou par stations centrales.

Dans la 4e partie, consacrée à la *transmission électrique de la force*, après quelques développements théoriques sur le travail et le rendement, les auteurs décrivent les principaux moteurs en usage et leurs diverses applications industrielles. Cette partie se termine par l'historique des expériences de M. Marcel Deprez (1882-1886), de M. Fontaine (1886) et de M. Brown (1887).

La 5e partie comprend la *galvanoplastie et l'électro-métallurgie.* Elle fournit des renseignements pratiques très étendus sur les procédés employés soit pour le dépôt électrolytique des métaux (or, argent, platine, aluminium, nickel, cuivre, fer, etc.), soit pour leur raffinage. Elle se termine par des indications sur la *soudure électrique* des métaux.

Enfin la *téléphonie* fait l'objet de la 6e partie, qui contient la description des principaux appareils transmetteurs et récepteurs, et celle de divers systèmes d'installations des postes et des lignes.

L'œuvre de MM. Cadiat et Dubost est remarquable par la clarté du style, les nombreux dessins explicatifs qu'elle renferme, et la compétence avec laquelle sont traités les divers sujets. Elle renferme les détails les plus complets sur toutes les branches de l'électricité industrielle, et l'on peut dire, avec les auteurs, qu'elle « résume l'industrie électrique moderne avec tous les perfectionnements les plus récents, et telle que l'Exposition de 1889 nous la montrera ». A ce titre on ne saurait trop en recommander la lecture aux personnes qui s'intéressent à la science électrique et qui voudront visiter l'Exposition avec fruit.

A un autre point de vue, elle offre un intérêt spécial pour les fonctionnaires des postes et des télégraphes qui sont chargés de la surveillance des conducteurs électriques destinés à l'éclairage et à la transmission de la force. Ils y puiseront le complément de connaissances techniques nécessaire pour exercer leur contrôle avec une entière compétence.

A. V.

Gérant: Ve Dunod.— Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1889 Mars - Avril

NOTICE

SUR

LA CARRIÈRE ADMINISTRATIVE

ET

LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

E.-E. BLAVIER

(Suite.)

Parmi tant de travaux qu'a laissés en suspens la mort à jamais déplorable de M. Raynaud, il n'en était aucun peut-être que les lecteurs des *Annales* suivissent avec plus d'intérêt que la notice biographique consacrée à la mémoire de M. Blavier. De la façon, en effet, que l'auteur avait compris sa tâche, ce n'était plus seulement le récit sommaire d'une vie studieuse, un dernier et pieux souvenir à l'homme de bien dont la plupart s'honoraient d'avoir été les amis, les élèves ou les subordonnés. Mais retraçant une carrière qui, commencée en 1846, presque à l'origine même et aux humbles débuts de la télégraphie électrique, s'était activement déroulée au milieu d'une suite incessante de progrès, et avait vu, avant de s'achever, et

l'Exposition de 1881 et les grands congrès électriques internationaux, M. Raynaud, pour rappeler tous les travaux de son prédécesseur, devait toucher tour à tour presque tous les sujets qui forment l'immense domaine de l'électricité. Il n'avait point voulu se borner à une simple énumération des études de M. Blavier; il avait voulu en montrer l'origine, le lien, la portée, leur rapport avec celles des savants contemporains; il avait voulu en discuter les fondements, les méthodes, les résultats, en indiquer l'avenir : ce qu'il se proposait de nous présenter, c'était en quelque sorte le tableau raisonné d'un mouvement sans égal dans l'histoire des sciences et de leurs applications, tant par son éclat et sa rapidité que par la grandeur de ses conséquences pratiques. Et de même, suivant M. Blavier dans les phases de sa carrière administrative, il en prenait texte pour rappeler et juger les transformations qu'a subies en ces quarante années le service de la télégraphie. Chargé de finir l'œuvre interrompue, je ne pouvais songer à en maintenir les larges proportions; à un cadre si vaste il ne fallait pas moins que l'érudition profonde, cette sûreté d'appréciation, cette autorité de l'expérience acquise et des services rendus, qui n'appartenaient qu'au maître dont je dois aujourd'hui venir prendre la place. Je m'en tiendrai donc à rappeler ce qui se rapporte directement à la personne de M. Blavier, et je reprends les choses au point où les avait laissées le récit de M. Raynaud (*Annales télég.*, septembre-octobre 1887).

G. S.

Lorsqu'intervint le décret du 27 février 1878 qui, retirant au ministère de l'intérieur la direction du service des Télégraphes, la transmit au sous-secrétaire d'État aux finances, déjà chargé de la direction du service des Postes, la question de la réunion des deux services était depuis longtemps sur le tapis. Agitée dès 1862, au Corps législatif, elle était devenue, en 1864, entre les deux administrations intéressées, l'objet d'une sorte de débats, dont les pièces principales, un mémoire de M. Vandal, directeur général des

Postes, en date du 3 mars, et un rapport de M. de Vougy, directeur général des Télégraphes, en date du 20 avril, ont été insérées aux *Annales* (n° de novembre-décembre 1864).

Déjà l'on faisait valoir les arguments qui ont entraîné plus tard l'adoption de cette mesure, l'analogie des services rendus au public par les deux administrations, l'impossibilité d'entretenir jusque dans les petites localités des postes télégraphiques spéciaux qui y seraient à la fois coûteux et improductifs, et par contre, les facilités que l'on trouverait à confier, moyennant un faible surcroit de salaire, ce nouveau travail au personnel postal déjà existant, enfin l'économie qui devait résulter de la réunion de deux bureaux dans un local unique. Déjà aussi se faisaient entendre les objections que n'ont cessé de faire valoir les adversaires de la fusion : différence « dans les conditions constitutives de deux services, » l'un tout de régularité, exécutant ponctuellement des opérations toujours identiques et réglées à l'avance, l'autre essentiellement occupé de pourvoir à des besoins imprévus, accidentels, demandant une satisfaction immédiate; différence dans les aptitudes et l'instruction nécessaires aux deux catégories d'agents; impossibilité d'affecter le même personnel aux deux emplois, impossibilité par conséquent d'obtenir les économies visées; en revanche, suppression du contrôle direct du ministre de l'intérieur sur un instrument politique de première importance.

La commission du budget, tout en reconnaissant la force des raisons opposés par ses contradicteurs, devait être sensible surtout à l'espoir d'alléger les charges publiques; elle persista dans le vœu émis les années précédentes. Pour lui donner satifaction, une commis-

sion fut instituée par les ministères des finances et de l'intérieur, en vue d'étudier les moyens pratiques de réaliser la réforme, et, l'année suivante, quelques bureaux municipaux furent, à titre d'essai, transformés en bureaux mixtes : la séparation était maintenue pour les postes de quelque importance.

Ce fut tout jusqu'en 1870 : à ce moment, l'idée de la fusion, que la presse présentait comme un progrès évident, avait fait son chemin dans le public; et, sous cette impression, le gouvernement de la Défense nationale réunit les deux services sous l'autorité de M. Steenackers (décret du 20 octobre 1870). Mais, à part l'unité de direction supérieure, rien ne fut changé au fonctionnement autonome des deux administrations, et les choses se retrouvèrent exactement en l'état, lorsque M. Thiers, par un des premiers actes de son gouvernement, eut rendu les Télégraphes au ministère de l'intérieur, les Postes au ministère des finances.

En 1871, l'une des cinq grandes commissions que l'Assemblée nationale avait chargées de l'éclairer sur la situation des divers services publics, s'occupa des postes et des télégraphes. La question de la fusion ne pouvait lui échapper : par l'organe de son rappporteur, le baron Eschassériaux, elle émit l'avis, longuement motivé, que le maniement des appareils télégraphiques pouvait être confié aux agents des postes dans les petits bureaux, mais que les deux personnels devaient rester entièrement distincts pour tous les postes de quelque importance, dont elle évaluait le nombre à 270. Considérant comme avantageuse la juxtaposition des deux administrations sous une autorité unique, elle examinait à quel département ministériel devaient être rattachés les deux services unis ; et, après discussion,

ayant écarté les ministères des finances, de l'agriculture et du commerce, n'osant par raison d'économie mettre en avant la combinaison qu'elle jugeait pourtant la plus souhaitable, celle d'un ministère spécial des postes et des télégraphes, elle finissait en proposant le rattachement aux travaux publics. L'année suivante, les rapporteurs de la commission du budget pour les ministères de l'intérieur et des finances, MM. Plichon et de la Bouillerie, s'appropriaient la plupart de ces conclusions, au moins en ce qui concernait la fusion.

De pareils débats touchant aux plus graves questions d'organisation des services ne pouvaient, on le conçoit, laisser le personnel indifférent. Les commissions parlementaires s'étaient surtout placées au point de vue des économies à réaliser, des facilités à offrir au public ; il appartenait à un homme du métier d'examiner les conséquences des projets de fusion au point de vue de l'exécution du service. C'est ce que fit M. Blavier dans sa brochure : *Considérations sur le service télégraphique et sur la fusion des Administrations des Postes et des Télégraphes* (Nancy, 1872, une brochure de 120 pages, in-16).

Malgré les expresses restrictions que la commission parlementaire avait pris soin de formuler au cours de son rapport, aux yeux de bien des personnes la réunion des deux administrations devait avoir pour conséquence forcée la fusion complète des deux personnels à tous les degrés de l'échelle hiérarchique, tout agent devant être indifféremment apte à l'un ou à l'autre travail. Si on se rappelle comment M. Blavier entendait les fonctions du télégraphiste et de quelle façon il les voulait voir remplies, tant en vue du progrès professionnel pris en lui-même que pour l'avancement de

certaines branches plus générales des sciences, on comprendra sans peine qu'il se soit ému de cette éventualité, qu'il ait cru devoir signaler le péril des exagérations, la sagesse des limites posées par la commission parlementaire, la nécessité de diviser le travail pour en obtenir la meilleure et la plus prompte exécution. Reprenant l'un après l'autre chacun des arguments invoqués en faveur de la fusion, il montre quels changements constitueraient des améliorations réelles, et quels autres ne sont que l'apparence du progrès. Puis, serrant son sujet de plus près, il étudie la contexture d'un réseau, précise le rôle des postes télégraphiques de diverses importances, et déduit du travail qui s'y accomplit les aptitudes à demander aux chefs qui les dirigent, aux agents qui les desservent; il se trouve ainsi amené à conclure que la fusion ne saurait être pratiquée avec avantage que dans les bureaux municipaux « qui ne correspondent qu'avec la station de l'État la plus voisine. »

Puisque l'économie ne doit pas être cherchée dans l'emploi à deux fins d'un seul personnel, peut-on du moins diminuer, dans chaque service, le nombre des fonctionnaires en restreignant leurs attributions? Et, à cet effet, peut-on, comme l'a indiqué la commission, confier aux Ponts et Chaussées la construction, la surveillance et l'entretien des lignes télégraphiques. M. Blavier se prononce résolûment contre cette solution, à laquelle il fait un double reproche : manquer son objet, puisque les Ponts et Chaussées ainsi que l'Administration des Télégraphes, aussi bien que les compagnies de chemins de fer auraient besoin d'un personnel spécial pour des travaux spéciaux; et, d'autre part, enlever à celui qui doit utiliser le fil, et

qui, seul, a le moyen d'en connaître à tout instant l'état, le soin et le devoir d'entretenir en bon fonctionnement son principal instrument de travail. Et un solide argument contre la fusion réside précisément dans cette liaison obligée du service de transmission proprement dit, avec le contrôle et l'observation des lignes, avec la recherche et la réparation des défauts, qui exigent des connaissances techniques et constituent des occupations bien différentes de celles du service postal. Que si l'on tient à réduire l'effecti des agents, surtout celui des états-majors, c'est par le remaniement des circonscriptions territoriales rendues plus étendues et moins nombreuses que l'on y pourra parvenir.

Examinant enfin le rôle de l'administration centrale, M. Blavier se plaint de la voir trop restreinte, cantonnée dans des travaux d'ordre purement administratif ; il réclame un bureau de statistique, un bureau scientifique, chargé de la direction des recherches techniques et théoriques, un laboratoire, une bibliothèque, des crédits pour encourager les travaux, un journal pour les faire connaître, toutes conditions qui lui paraissaient nécessaires pour que la télégraphie française « occupât en Europe un rang digne de la France. »

Il termine son étude en recherchant, avec la commission parlementaire, à quel département devait revenir la direction des deux services. Le rattachement au ministère de l'intérieur ne se pouvait concevoir qu'à l'époque où la télégraphie, réservée en principe aux communications du gouvernement, n'était mise que par faveur, et en quelque sorte par complaisance, au service du public et paraissait considérée surtout comme un instrument politique, comme *une arme*

puissante, qu'il semblait naturel de placer entre les mains du chef suprême de l'administration intérieure et de la sûreté générale. Le ministère des finances serait trop porté à donner un caractère fiscal aux produits de la poste et des télégraphes : *Si les postes rapportent au Trésor une quarantaine de millions, si les télégraphes peuvent arriver à rapporter deux ou trois millions, on doit le considérer comme une circonstance heureuse dont il faut profiter, surtout dans les circonstances actuelles, mais non y voir un système d'impôt.* Et par cette tendance, si naturelle, si justifiée dans une administration financière, à s'attacher surtout à ce qui rapporte, et à redouter ce qui peut devenir une occasion de dépenses, on pourrait craindre un peu de parcimonie à l'égard des recherches, des essais et des innovations, sans lesquelles la télégraphie ne saurait progresser. En faveur du ministère des travaux publics on pourrait faire valoir que des rapports incessants existent aussi bien pour la poste que pour le télégraphe avec les compagnies des chemins de fer, et que ces rapports pourraient être rendus plus faciles, si ces services étaient rangés sous la même autorité dont dépendent les compagnies; l'on pourrait alléguer que d'autres pays ont fait la même épreuve, et ont obtenu de bons résultats. *Mais la solution la plus satisfaisante... serait la création d'un ministère spécial des postes et des télégraphes, dans lesquels les deux services conservaient leur autonomie, sans être subordonnés l'un à l'autre.* Telles étaient les idées que M. Blavier s'était faites sur ces graves questions et qu'il publiait en 1872. Son esprit était trop haut pour laisser accès aux considérations de personnes : sa parfaite connaissance du service, acquise par la pra-

tique des emplois les plus divers, sa science aussi lucide qu'étendue, sa divination véritablement merveilleuse des progrès à accomplir, le rendaient plus capable que personne d'apprécier l'importance et la difficulté des questions techniques, et le mettaient également en garde contre le danger de la routine et contre les innovations inconsidérées. Les jugements qu'il a portés présentent donc un intérêt, une autorité particulière; nous avons pensé qu'il ne pourrait être inutile de les reproduire.

Il serait superflu de rappeler ici quelles modifications furent apportées à l'ancien service des Lignes télégraphiques par le décret du 27 février 1878, et par la création, qui suivit de près, du Ministère des Postes et des Télégraphes; d'autres changements encore sont survenus depuis. Nos lecteurs, qui, pour la plupart, ont dû en étudier de près l'esprit, le but et la portée, n'auront pas de peine à reconnaître parmi tant de dispositions de natures si variées, lesquelles se rapprochent et lesquelles s'éloignent des solutions indiquées par M. Blavier. Toutefois, entre toutes, il en est une qui doit nous arrêter particulièrement, non seulement parce qu'elle répondait à un besoin que M. Blavier avait souvent signalé, mais aussi parce qu'il consacra les dernières années de sa carrière à en développer les conséquences : nous voulons parler de cet ensemble de cours d'enseignement supérieur, à la fois théorique et pratique, auquel fut donné le nom d'École supérieure de Télégraphie.

La question de l'enseignement professionnel dans les services publics peut être envisagée à deux points de vue bien distincts : d'une part, elle se lie au mode

de recrutement du personnel, et par là touche à l'organisation générale ; il s'agit alors uniquement d'assurer un minimum de connaissances indispensables pour la marche des affaires. Mais on peut aussi se proposer un but plus élevé et développer l'instruction technique au delà du strict nécessaire, s'efforcer de former des agents qui soient non seulement à hauteur de leur tâche journalière, mais encore capables de contribuer au progrès. C'est dans cet ordre d'idées que nous nous placerons avec M. Blavier.

A l'époque présente, il n'est guère de service public qui n'ait à employer quelque outillage, et ne soit, par suite, amené à en poursuivre l'amélioration. Mais une fois constatée cette tendance commune, on doit aussitôt reconnaître une différence profonde. Pour les uns, l'agent mécanique n'est qu'un utile auxiliaire, plus obéissant, plus rapide, plus exact, plus économique que ne serait l'homme même; mais ce n'est qu'un aide : son secours est avantageux, point indispensable, et, s'il se trouve faire défaut, ou devenir plus efficace, les détails d'exécution s'en peuvent peut-être ressentir, la nature du travail à faire ni le caractère général du service n'en sont point changés. Tel est le cas, lorsque tout réside dans l'ordre et le soin apportés à des manipulations simples, et dans la netteté des écritures qui les représentent : alors, le moyen matériel n'est plus qu'un accessoire où l'innovation ne peut plus être bien féconde. L'homme reste l'agent essentiel, et comme il demeure éternellement sujet aux mêmes erreurs, aux mêmes tentations, aux mêmes défaillances, les mesures prescrites pour le guider et le soutenir contre lui-même, ne sauraient guère vieillir; la connaissance la plus utile peut-être devient ainsi

celle de ces règlements où se résume l'expérience acquise par les devanciers dans des opérations similaires, sinon en tout semblables. Sur le reste, il suffit de ces notions sommaires, de ces clartés générales qui permettent de connaître les moyens existants et les ressources qu'ils offrent, de suivre les améliorations qu'ils reçoivent, de comprendre le parti qui peut être tiré de ces améliorations.

Pour d'autres services, au contraire, on peut dire qu'ils ont leur raison même d'exister dans la nature des moyens matériels qu'ils emploient. Là, l'homme n'est plus que le conducteur, j'allais presque dire le serviteur, d'un puissant outillage dont aucun concours de bras, aucun effort d'intelligence ne saurait tenir lieu. De cet outillage dépendent et la distribution du travail, et les méthodes d'exploitation, et le coût du service rendu, et la rétribution nécessaire, et, en dernière analyse, l'utilité définitive dans la vie sociale. Là, le progrès de l'instrument ne se réduit plus à une commodité plus grande dans le cercle étroit de ceux qui en ont le maniement direct, il porte bien au delà des fruits inespérés. Aussi le souci de le connaître, de l'utiliser au mieux, de l'améliorer si possible, doit-il devenir la première et la principale préoccupation.

Mais aussitôt s'impose une inévitable conséquence : ce n'est pas dans les établissements d'instruction générale que se peut acquérir une suffisante connaissance des outillages professionnels ; là, les études doivent se limiter à ce qui est d'intérêt commun, à ce qui constitue, aux divers degrés de l'échelle, le fonds de notions obligatoires pour tous. Et, telle est aujourd'hui, même dans un domaine ainsi restreint, l'abondance des matières à traiter, qu'à l'école primaire aussi bien qu'à la Faculté,

les programmes se surchargent et que les heures font défaut. On ne saurait songer à accroître une tâche déjà trop lourde ; il faut donc, de toute nécessité, qu'un départ s'établisse, et que chaque ordre de connaissances pratiques pourvoie par lui-même à son enseignement professionnel.

Il est à ce partage encore une autre raison : tant qu'on se tient dans la pure théorie, soit que l'on étudie les phénomènes de la nature, soit qu'on s'occupe de l'histoire ou des conditions d'existence des sociétés, on peut dire qu'il y a une vérité absolue, et que la doctrine est fixée. Dans un enseignement ainsi revêtu d'un caractère impersonnel, les tendances particulières du maître peuvent tout au plus modifier l'aspect général, l'ordre, le développement accordé aux divers sujets, elles n'en sauraient changer ni le fonds, ni la portée, ni l'importance relative. Il en est tout autrement dès qu'on passe aux applications : aussitôt les questions cessent d'être simples, elles ne peuvent plus être étudiées en elles-mêmes, en dehors de toute autre considération, elles ne sont plus susceptibles d'une réponse unique. Mais une foule d'éléments interviennent qui, pour la plupart, ne sauraient être appréciés, évalués que par estime et, en quelque sorte, au sentiment. Selon qu'on attache à l'un ou à l'autre plus ou moins de poids, on est conduit à préférer telle ou telle autre solution ; et, de la sorte, le jugement propre du maître, sa tournure d'esprit spéciale se trouvent dominer tout son enseignement, et en détermine, non plus seulement le détail, mais les conclusions dernières. Et comme au nombre de ces éléments indécis il faut placer, avec ceux qui résultent de la nature même de l'affaire, ceux qui dérivent des formes d'exécution, de cet ensemble

de méthodes, d'habitudes et d'expériences accumulées qui constituent les traditions d'un service public, il paraît difficile de demander de telles leçons à tout autre qu'à un homme du métier, de longue date rompu à la pratique et aux formes qu'elle revêt.

La télégraphie ne pouvait échapper à cette nécessité commune. Au début, c'est parce qu'elle se servait d'un agent naturel qui lui était propre, dont elle avait pour ainsi dire la jouissance exclusive, qu'elle avait dû se créer à elle-même son enseignement. Depuis, lorsque développant par une suite de progrès ses procédés rudimentaires, elle était passée à l'état d'art complexe, d'autres industries s'étaient formées à côté d'elle qui faisaient aussi usage de l'électricité; mais alors, par l'étendue de son outillage, par la variété de ses installations, par le nombre et la délicatesse des questions qu'elle a à envisager, par les conditions enfin dans lesquelles elle opère et qui ne trouvent d'analogues dans aucune autre industrie, elle était encore obligée de ne rien emprunter à autrui, de se suffire par ses seules ressources.

La charge que l'administration des télégraphes se trouvait ainsi contrainte d'assumer, était d'autant plus lourde qu'elle était double; en effet, de quelque application des sciences qu'il s'agisse, l'enseignement prend forcément deux formes tout à fait distinctes selon l'objet en vue. Descriptif, qualitatif, si on peut dire, lorsqu'il faut donner à ses auditeurs les notions générales suffisantes pour suivre avec intelligence des opérations auxquelles ils ont part, il se borne à énoncer la nature et le sens des phénomènes, il n'en évalue par la grandeur, il néglige les faits secondaires, et, soucieux avant tout de présenter aux esprits un tableau simple dont

les lignes arrêtées se puissent aisément graver dans la mémoire, il élimine de parti pris non seulement ce qui est sujet à doute, à ambiguïté, mais encore tout ce qui pourrait distraire l'esprit des lois fondamentales. Tout autre devient son caractère, quand il s'adresse à des élèves déjà préparés, et cherche à leur donner la connaissance la plus complète et la plus précise. La nature, on ne saurait trop s'en convaincre, n'est pas simple; chaque fait porte en lui le germe, sinon de son contraire, au moins d'autres faits qui le troublent, le compliquent et le masquent. Ce n'est point en l'observant que nous pourrions saisir et noter le moindre phénomène, c'est par la force d'abstraction de notre esprit, par une opération purement subjective que nous parvenons à concevoir et à séparer des éléments qui s'enchevêtrent dans la réalité. Aussi, dans la recherche scientifique, rien ne serait que spéculation, hypothèse, conjecture plus ou moins vraisemblable, si à tout moment la mesure n'apportait des données certaines, indépendantes de nos jugements : ce sont là les points de repère qui tracent et jalonnent la route, qui contiennent les imaginations trop promptes et les empêchent de s'égarer. De ce rôle prépondérant des mesures résulte comme conséquence la forme même de tout enseignement supérieur : les méthodes d'évaluation, leur emploi, leur précision, leurs résultats y tiennent la première place; c'est sous le point de vue numérique que sont envisagés les phénomènes, c'est à leurs éléments mesurables que l'on s'attache. Et, une fois introduites partout ces notions de quantité, c'est l'instrument mathématique qui fournit le moyen le plus commode de relier les uns aux autres les résultats partiels, de les interpréter, d'en formuler le sens

général; c'est lui aussi qui permet d'en déduire des conséquences nouvelles que vérifieront de nouvelles mesures. La possession des procédés du calcul se présente donc comme indispensable pour toute étude approfondie des sciences physiques et de leurs applications. On voit, sans qu'il soit besoin d'insister davantage, combien cet enseignement se distingue du premier.

Il ne manque pas de gens, il est vrai, pour en contester l'utilité, pour croire et proclamer qu'en général les rudiments suffisent; qu'en télégraphie en particulier, les cours élémentaires répondent amplement à tous les besoins de la pratique. Ils vont plus loin, et soutiennent que, même pour des objets moins terre à terre que le courant du service, tant de science ne sert à rien; témoins, disent-ils, les principaux inventeurs qui ont été bien rarement des hommes versés dans la théorie. Ce raisonnement a été reproduit sous toutes les formes, et, comme celui qui allègue les prétendues contradictions de la théorie et de la pratique, il a été accueilli avec d'autant plus de faveur qu'il est plus commode aux amours-propres. A le bien examiner cependant, c'est *moins* qu'un sophisme, à peine une équivoque sur le vrai sens des mots, ou plutôt une grossière méprise sur le fond même du débat.

Apprend-on en vue de devenir inventeur? Non certes; et peut être n'est-il point de don plus spontané, plus personnel que le don d'invention. Aucune érudition ne saurait tenir lieu de cette faculté native, de ce génie propre; car il ne s'agit plus de connaître, d'interpréter, de juger, mais de pressentir, d'augurer, de créer.

Mais l'innovation, pour être vraiment utile, ne doit

pas être perpétuelle : en effet, elle ne se présente pas, comme certains se l'imaginent, complète et parfaite du premier jour; elle a besoin d'essais, de tâtonnements, d'améliorations graduelles, elle n'atteint que peu à peu sa forme définitive, et c'est seulement alors qu'elle devient profitable. Il faut, en outre, qu'elle réponde à une utilité réelle, et que, par sa nature, elle s'adapte à l'ensemble dans lequel elle doit prendre place; le projet le plus ingénieux ne saurait être accueilli, s'il n'apporte avec lui aucun avantage, ou si, pour un progrès médiocre, il exige un changement trop grand de l'organisme existant. Aussi, s'agit-il moins souvent de chercher le nouveau que d'utiliser au mieux ce qui est déjà réalisé. Et d'autre part, l'inventeur, par cela même que son travail est tout original, risque d'ignorer ce que d'autres ont fait avant lui ou à côté de lui; de ne pas apercevoir l'importance de ce qui s'accorde moins à la tournure particulière de son esprit, et de s'épuiser ainsi à combattre des difficultés dont la cause ne saurait être devinée d'instinct, et dont le remède ne saurait être cherché sans en savoir la cause. Qui de nous n'a entendu un inventeur, et non des moins illustres de cette époque, raconter ses premières tentatives, ses mécomptes, ses efforts sans cesse variés et toujours infructueux; enfin le trait de lumière qui avait éclairé son esprit, en entendant un des maîtres que nous regrettons, expliquer les lois de la propagation des courants sur les longs fils télégraphiques. Alors seulement il avait reconnu la vérité, il avait compris que la faute n'était point à ses mécanismes, parfaits en eux-mêmes, mais condamnés d'avance à ne point réussir, parce qu'ils ne tenaient point compte de certaines lois

supérieures. Sans doute, en électricité, de grandes découvertes ont pu être réalisées par tâtonnements, par recherche individuelle, et en quelque sorte d'inspiration; mais le progrès ne saurait suivre, dans cet ordre d'application, une autre marche que partout ailleurs. A mesure que le champ d'études est mieux exploré, il devient plus difficile d'y faire de nouvelles trouvailles; et la variété, l'étendue de l'œuvre accomplie de prime-saut en ces dernières années, loin de fournir un argument contre l'utilité des connaissances approfondies, nous est une sûre raison de croire que de tout autres moyens devront être mis en œuvre pour développer les résultats acquis et les porter à la perfection dont ils sont susceptibles.

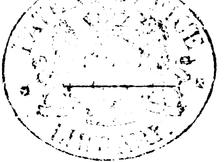
Pour ne parler que de choses professionnelles, l'outillage télégraphique se transforme; les appareils à marche lente, qui suffisaient à tous les besoins, il y a peu d'années encore, doivent faire place à d'autres plus rapides. Et ce n'est point seulement la complication des organes qui s'en accroît, mais une foule d'éléments, inconnus jusqu'ici ou négligeables, prennent une importance prépondérante. Les conséquences s'enchaînent : pour des instruments plus délicats, il faut des lignes meilleures; et si, à force de soins et de dépenses, les lignes ont été améliorées, il faut en profiter en tirant bon parti des instruments par les installations les plus productives. Enfin, un art nouveau, la téléphonie, avec des exigences et des difficultés propres, présente chaque jour des problèmes dont la solution est à peine ébauchée : nature des appareils, manière de les grouper sur les fils, nature et disposition des lignes, organisation générale des réseaux, installation des postes de raccords, rendement des divers systèmes,

discipline du service, communications à longues distances, etc., autant de questions d'ordre essentiellement pratique, dont la réponse ne saurait être trouvée que par une étude persistante. Et si les difficultés s'amoncellent de plus en plus nombreuses, de plus en plus ardues, n'est-ce point le cas de rappeler ce mot si frappant de Gounelle : *On ne peut séparer la théorie de la pratique; sans la première, on marche en aveugle, sans la seconde, on ne marche pas*

(*A suivre.*)

SUR

L'INTENSITÉ DES EFFETS TÉLÉPHONIQUES



En poursuivant les recherches déjà faites et publiées sur la théorie du téléphone (*), j'ai été conduit naturellement à l'étude des causes qui font varier l'*intensité* des effets téléphoniques.

Ces causes sont nombreuses : l'intensité du champ magnétique du noyau aimanté ; la résistance ou plutôt la longueur du fil de la bobine qui entoure les pôles du noyau ; le nombre et la forme de ces pôles ; l'épaisseur du diaphragme... De là la multitude de formes données aux téléphones. Mais, bien que ces formes diffèrent quelquefois beaucoup les unes des autres, les résultats obtenus au point de vue de l'intensité des effets diffèrent peu, preuve de la complexité du problème.

J'ai commencé par étudier séparément l'influence de l'*épaisseur* du diaphragme pour un téléphone de forme bien déterminée, et pour une même variation du champ magnétique.

A cet effet, j'ai pris un téléphone de M. d'Arsonval, T (*fig.* 1), où la membrane était serrée dans une monture en ébonite pour l'isoler complètement de la masse de l'appareil. Pour éviter autant que possible des renforcements dus à des harmoniques du son fondamental

(*) Voir *Annales télégraphiques*, janvier-février, mars-avril 1886; *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1885 et 1887.

de la membrane encastrée, je lui ai fait reproduire non pas un son musical, mais un bruit sec provenant d'un métronome fixé à la planchette d'un microphone, et dont le ressort était constamment maintenu à la même tension. Le fil primaire de la bobine d'induction du microphone était relié aux pôles d'une pile par l'intermédiaire d'un ampère-mètre donnant les millièmes d'ampère, et le courant était maintenu à une valeur constante.

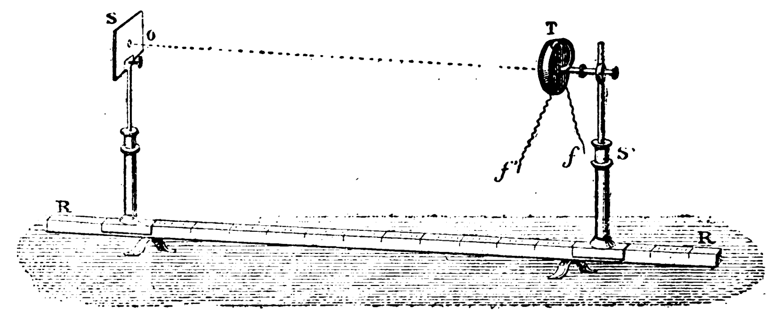


Fig. 1.

Le téléphone reproduit ainsi le bruit du métronome placé dans une salle éloignée d'où il est impossible de l'entendre. Il en résulte des ondes aériennes ayant pour origine une très petite ouverture pratiquée au couvercle du téléphone, de sorte qu'on peut les considérer comme sensiblement sphériques. On les recueille dans l'oreille placée en O contre un support fixe, S, pendant que le téléphone peut être éloigné progressivement, car il est fixé à un support S' susceptible de glisser le long d'une règle graduée RR.

Les fils f, f', du téléphone, sont reliés au fil secondaire de la bobine d'induction du microphone.

Dans toutes les expériences, on éloigne ainsi le télé-

phone de l'oreille à une distance telle que l'intensité du bruit reçu par elle soit nul. On se sert, à cet effet, d'une tige armée d'un crochet, qui permet à l'observateur de produire le glissement du support S′ sans déranger l'oreille de sa position. On opère dans un grand silence ; on détermine la distance en question par éloignement progressif du téléphone, puis, une seconde fois, en dépassant la limite et rapprochant graduellement l'appareil : en prenant la moyenne des deux déterminations, qui sont, en général, assez peu différentes quand on s'est exercé quelque temps, on obtient des résultats satisfaisants.

Dans ces conditions, on peut admettre que l'intensité du bruit produit dans deux expériences différentes est proportionnelle au carré des distances auxquelles ce bruit est nul.

Expériences avec des diaphragmes en fer. — Elles ont porté sur dix-huit diaphragmes d'épaisseurs variables, depuis $0^{mm},148$ jusqu'à 2 millimètres.

Les premiers essais faits avec un courant de $0^{m},3$ d'ampère ayant montré que le bruit du métronome reproduit par le téléphone était perçu par l'oreille à des distances trop grandes (10 à 15 mètres), pour la facilité des expériences, j'ai dû réduire le courant à 0,15 d'ampère et introduire dans le circuit une résistance d'environ 17.000 ohms. Dans ces conditions, les distances où l'intensité du bruit est nulle ont varié de 15 centimètres à 84 centimètres.

La courbe ci-contre (*fig.* 2 [1]) indique les résultats des expériences. Les abscisses y représentent les épaisseurs des diaphragmes en centièmes de millimètre mesurées très exactement : les ordonnées sont les carrés des distances auxquelles l'intensité est nulle, évaluées

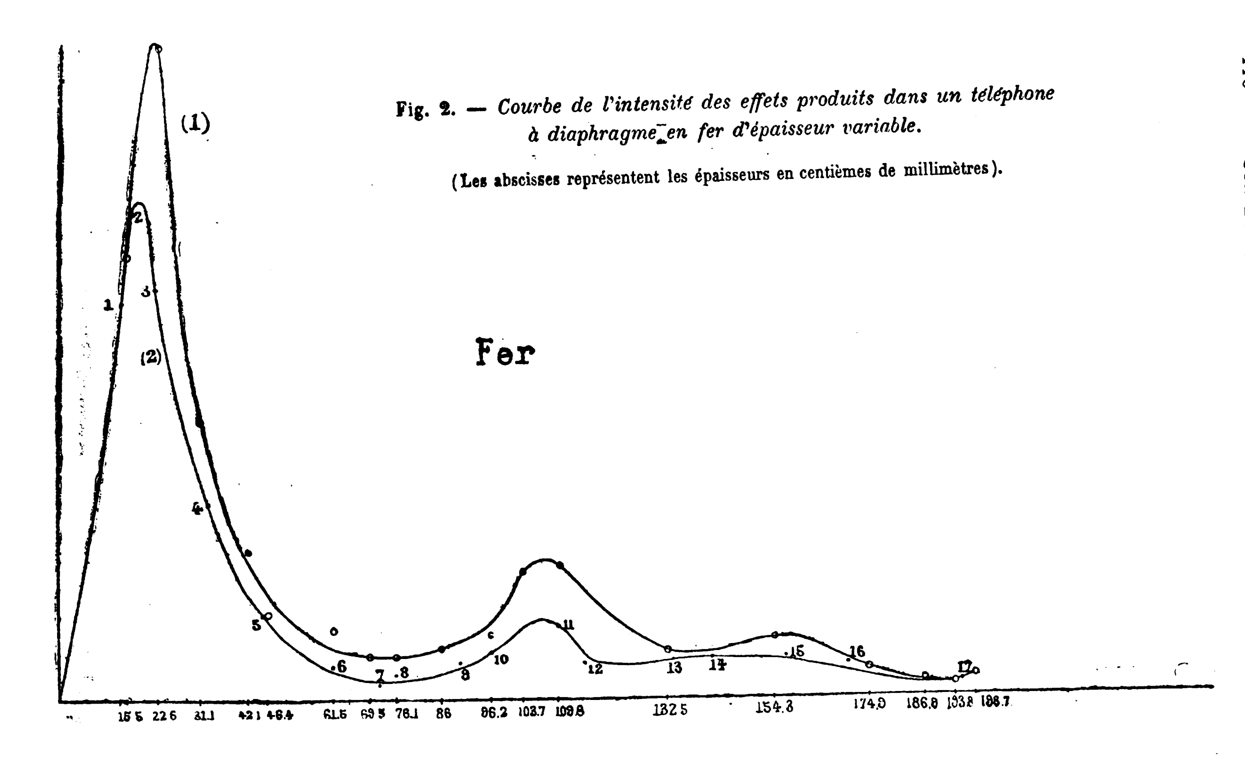


Fig. 2. — *Courbe de l'intensité des effets produits dans un téléphone à diaphragme en fer d'épaisseur variable.*

(Les abscisses représentent les épaisseurs en centièmes de millimètres).

à $0^{cm},5$ près ; elles ont été divisées par 5 pour avoir une échelle convenable.

On voit que l'intensité croît d'abord très rapidement, atteint un maximum correspondant à une épaisseur d'environ $0^{mm},20$, puis décroît rapidement en présentant encore deux maxima partiels ; cette forme ondulatoire curieuse est certaine ; elle a été constamment observée et j'y reviendrai plus tard.

L'existence du premier et principal maximum s'explique par cette considération qu'il faut une certaine masse de fer et, par suite, une certaine épaisseur, pour absorber toutes les lignes de force du champ magnétique de l'aimant du téléphone. A partir de cette épaisseur, la masse de fer qu'on ajoute doit être plutôt nuisible qu'utile au point de vue de l'intensité des effets produits par les variations du champ.

Néanmoins, au point de vue de la reproduction, non plus d'un bruit, mais de la parole articulée, il était nécessaire de vérifier, à ce point de vue, les résultats mis en évidence par la forme de la courbe ; cette vérification a été faite sur des téléphones dans lesquels la forme des aimants et, par suite, la nature du champ magnétique étaient très différentes ; elle a été concluante : elle est d'ailleurs conforme à la pratique des bons constructeurs de téléphones et peut se formuler ainsi : *pour tout téléphone de champ magnétique donné, il y a une épaisseur de diaphragme en fer qui donne un maximum d'effet.*

J'ai donné ci-dessus la courbe représentative de l'intensité des effets téléphoniques produits dans un téléphone d'Arsonval à diaphragme en fer d'épaisseur variable.

La même méthode d'observation et le même mode

de représentation ont été appliqués avec des diaphragmes en métaux diamagnétiques.

Expériences avec des diaphragmes en aluminium et

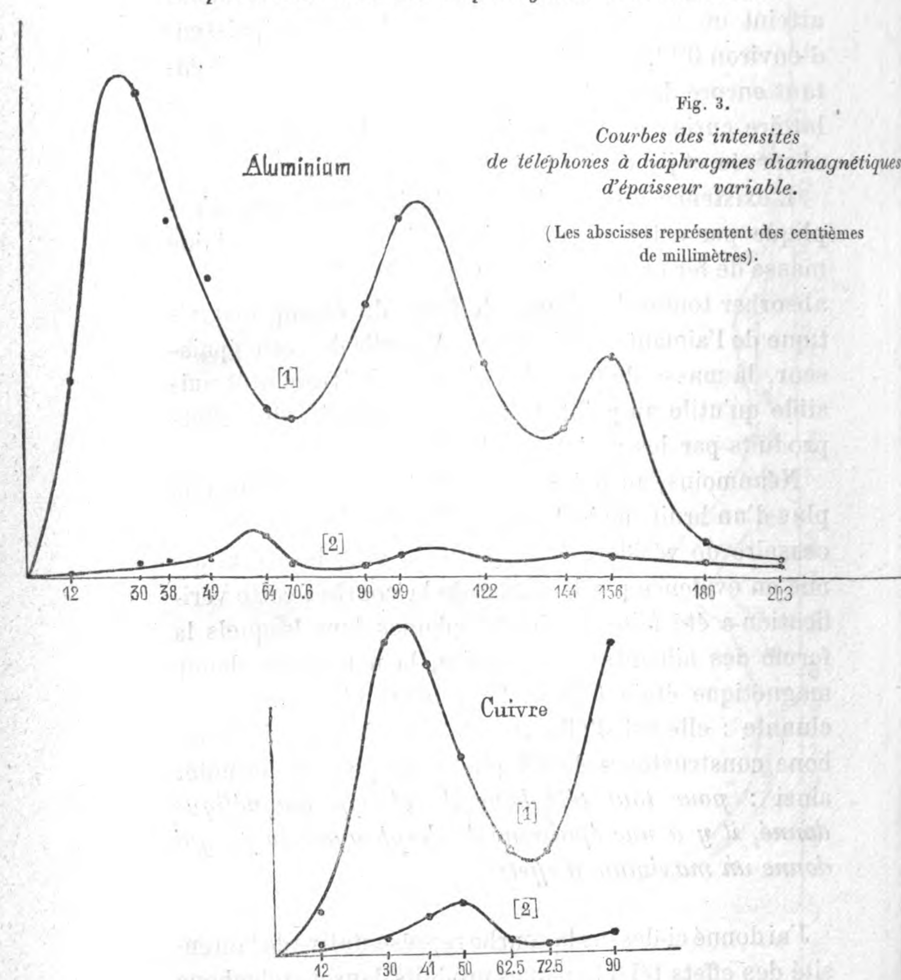


Fig. 3.
Courbes des intensités de téléphones à diaphragmes diamagnétiques d'épaisseur variable.
(Les abscisses représentent des centièmes de millimètres).

en cuivre. — La courbe ci-dessus [1], relative à l'aluminium, résulte d'expériences faites avec treize diaphra-

gmes dont les épaisseurs ont varié de $0^{mm},12$ à $2^{mm},03$: tous les points obtenus sont figurés sur le graphique.

La courbe a la même allure que celle du fer, sauf que les maxima et minima successifs décroissent beau coup plus lentement.

Celle qui concerne le cuivre [1] a la même forme : on a pu s'assurer, en prenant des disques de cuivre d'épaisseur variant de $0^{mm},90$ à 2 millimètres, que les maxima et minima décroissent plus lentement encore, si bien que, en recevant dans un téléphone à diaphragme de cuivre des sons ou des paroles articulées, l'intensité des effets perçus est presque aussi grande avec un diaphragme de $0^{mm},90$ d'épaisseur qu'avec un diaphragme de $0^{mm},30$.

Ces courbes ont été obtenues, comme on l'a vu pour le fer, en prenant comme abscisses les épaisseurs des diaphragmes exprimées en centièmes de millimètre, et comme ordonnées les carrés des distances auxquelles on n'entend plus le téléphone reproduisant le bruit produit par le métronome fixé à la planchette du microphone. Mais il a fallu ici doubler l'intensité du courant qui traverse le fil primaire de la bobine d'induction du microphone, et le porter à 0,3 d'ampère; il a fallu, de plus, supprimer la résistance de 17.000 ohms introduite dans le fil secondaire dans les expériences faites avec les diaphragmes en fer.

C'est que les effets produits avec les diaphragmes d'aluminium et de cuivre sont, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus faibles que ceux qu'on obtient avec les diaphragmes en fer. Aussi l'échelle de la courbe [1] relative à l'aluminium, qui est environ dix fois plus grande que celle de la courbe [1] du cuivre, est plu-

sieurs centaines de fois plus petite que celle du fer (*).

On est porté à croire tout d'abord que cette différence considérable d'effet quand on passe du fer à l'aluminium et au cuivre tient uniquement à ce que le magnétisme spécifique de ceux-ci est extrêmement petit par rapport à celui du fer. C'en est, effectivement, la principale cause. Mais il y en a une autre, qu'il est nécessaire de considérer : c'est l'induction électro-dynamique résultant des variations du magnétisme dans le noyau de l'aimant du téléphone, et qui produit des courants dans la masse du diaphragme ; de la réaction mutuelle de ces courants et du noyau résultent des mouvements qui viennent s'ajouter à ceux qui sont produits par l'induction magnétique proprement dite.

Pour trouver la part qui appartient à l'induction électro-dynamique dans l'effet total, il suffit de remarquer que les courants qui la caractérisent doivent être circulaires, ou à peu près, dans le diaphragme : comme on avait eu soin, en prévision de ce résultat, de construire en ébonite, matière isolante, la monture et le couvercle du téléphone, on devait empêcher la production de ces courants, en très grande partie au moins, en pratiquant avec une scie, dans les diaphragmes, une fente très fine allant du centre à la circonférence ; la masse enlevée ainsi étant extrêmement petite, cette opération ne pouvait avoir qu'une influence négligeable sur l'induction magnétique, phénomène essentiellement moléculaire.

(*) Il est très probable que si les intensités relatives à l'aluminium sont supérieures à celles du cuivre, cela tient à ce que les diaphragmes en aluminium renfermaient un peu de fer : 1,65 p. 100 dans ceux qui m'ont servi, ce qui correspond à environ $0^{gr},01$ à $0^{gr},07$, quantité dont les effets ne sont pas négligeables. Les diaphragmes de cuivre ne renfermaient que des traces de fer.

Or, en opérant ainsi sur dix-huit disques en fer identiques à ceux qui avaient servi aux premières expériences, et en construisant une seconde courbe [2] par la même méthode que celle qui avait servi à construire la première, on trouve qu'elle a la même forme; les ordonnées sont seulement réduites d'environ 1/4 dans le voisinage du premier maximum et d'environ 1/2 pour le reste de la courbe.

Quant à l'aluminium et au cuivre, les courbes [2] ci-contre montrent à quoi se réduisent les intensités, en pratiquant une fente radiale dans treize diaphragmes d'aluminium et sept diaphragmes de cuivre identiques à ceux qui ont servi à construire les courbes [1] (ils ont été découpés comme ceux en fer les uns à côté des autres, deux à deux, dans les mêmes bandes de métal). Ces courbes [2] représentent approximativement l'effet dû à l'induction magnétique et aux autres causes, extrêmement faibles d'ailleurs, provenant de la vibration du noyau de l'aimant, de l'action directe de la bobine qui l'entoure, etc.

En définitive, on peut conclure de ces expériences : 1° *que les téléphones à diaphragme en fer sont beaucoup plus intenses que les autres et que leur effet est principalement dû à l'induction magnétique;* 2° *que les téléphones dont les diaphragmes sont faits avec de l'aluminium ou du cuivre présentent comme les précédents des maxima successifs d'intensité*, *et doivent leurs effets principalement à l'induction électro-dynamique*. J'ajoute que si ces effets sont très petits, ils sont d'une *qualité* remarquable; ils reproduisent bien mieux que ceux des diaphragmes en fer le timbre des sons et de la parole articulée.

E. MERCADIER.



NOTE

SUR DES

FILS EN ALLIAGES DE CUIVRE ET MAGNÉSIUM

DES FILS DE FER ET DES FILS D'ACIER

FILS EN ALLIAGES DE CUIVRE ET MAGNÉSIUM

Dans le numéro de septembre-octobre 1888, des *Annales télégraphiques*, j'ai indiqué la méthode expérimentale que j'avais suivie pour déterminer le coefficient de variation de la résistance électrique de fils de bronze et de fils de cuivre pour une élévation de température de 1°.

J'ai appliqué récemment ce même procédé à la recherche du même coefficient pour des fils fabriqués avec des alliages différents de cuivre et de magnésium, mis à ma disposition par M. Mouchel. Les résultats obtenus sont indiqués dans les tableaux I et II ci-après. Le premier contient le détail des expériences, avec les valeurs obtenues pour ces coefficients; dans le second, j'ai inscrit : 1° les résistances à 0° de chacun de ces fils, pour 1000 mètres de longueur et 1 millimètre de diamètre (la correction relative à la température était faite au moyen de la valeur de α trouvée pour chaque fil); 2° la conductibilité à 0° de chaque fil; 3° le produit de α par la résistance à 0°.

TABLEAU I.

NUMÉROS d'ordre	DIAMÈTRES des fils	LONGUEURS soumises à l'essai	TEMPÉRATURE initiale t_1	RÉSISTANCE à la température initiale	TEMPÉRATURE finale	RÉSISTANCE à la température finale	VALEURS DE α
1	1mm,11	104m	12°,9	8ω,632	41°,8	8ω,880	0,00100
2	1mm,01	104m	11°,3	4ω,265	43°,0	4ω,531	0,00201
3	1mm,13	104m	11°,4	3ω,074	40°,9	3ω,276	0,00228
4	1mm,11	104m	13°,1	2ω,793	48°,4	3ω,033	0,00251
5	1mm,125	104m	10°,9	2ω,168	45°,5	2ω,400	0,00320
6	1mm,30	104m	16°	1ω,387	45°,7	1ω,530	0,00365

Les résistances sont exprimées en ohms légaux.
Chaque valeur de α est la moyenne de trois expériences dont les résultats sont à peu près identiques.

TABLEAU II.

NUMÉROS d'ordre	RÉSISTANCE kilométrique à 0 degré calculée pour un fil de 1mm de diamètre	CONDUCTIBILITÉ à 0 degré par rapport à celle du cuivre pur indiquée dans les tables	PRODUIT de la résistance à 0 degré par le coefficient α
1	100ω,961	20,14	0,100961
2	40ω,503	50,22	0,08141103
3	36ω,785	55,30	0,08387139
4	32ω,034	63,50	0,08040534
5	25ω,493	79,79	0,0814776
6	21ω,294	95,53	0,0777231

Les résultats contenus dans le deuxième tableau montrent : 1° Qu'avec les alliages de cuivre et de magnésium, on peut obtenir des fils de conductibilité très différents et dont les uns valent, presque, sous ce rapport, les cuivres de haute conductibilité ;

2° On peut considérer comme à peu près égaux (bien que le fil n° 1 y fasse un peu exception) (*), les pro-

(*) Le fil n° 1 contenait, outre du cuivre et du magnésium, d'autres métaux.

duits de la résistance à 0° de chaque fil de 1 millimètre de diamètre, par la valeur de α correspondant à ce fil. On peut donc dire que ce produit est constant, loi semblable à celle qui a déjà été observée pour les fils faits avec des alliages de cuivre et d'étain (*voir* page 423 du numéro de septembre-octobre 1888 de ce recueil); ce qui permet d'appliquer, pour déterminer par le calcul, sans expériences *ad hoc*, la valeur de α pour un fil provenant d'un alliage de cuivre et de magnésium, quant on connaît celle correspondant à un fil d'un autre alliage du cuivre avec le même métal.

De plus, les nombres représentant ces produits ne diffèrent pas notablement de ceux qui expriment (*voir* page 422 du numéro de septembre-octobre 1888) les produits analogues pour les fils de cuivre pur. Dans la pratique, on peut, la plupart du temps, les considérer comme égaux et alors suivre, pour la détermination de α d'un fil fait d'un alliage de cuivre et de magnésium, la règle indiquée page 423, et qui consiste à mesurer la résistance d'une certaine longueur de ce fil, calculer la résistance à la même température d'un fil de cuivre pur (dont la résistance moyenne est donnée page 422) de même diamètre et de même longueur, multiplier ce dernier nombre par 0,00402 et diviser le produit par la résistance du premier fil; le quotient représente la valeur approchée de α.

En appliquant cette méthode pour les fils 2, 3, 6, de cette note, on trouve, en supposant que les résistances ont été mesurées à 0°,

Fil 2, $\alpha = 0{,}00207$;
3, $\alpha = 0{,}00221$;
6, $\alpha = 0{,}00381$;

qui diffèrent peu des valeurs trouvées par l'expérience.

Afin de voir quel usage on pourrait faire de ces fils, je les ai soumis aux essais mécaniques ordinaires. Les résultats de ces expériences sont contenus dans le tableau ci-après :

TABLEAU III.

NUMÉROS d'ordre	TENSION de rupture	TENSION de rupture par millimètre carré	ALLONGEMENT lors de la rupture	NOMBRE de pliages à angle droit avant rupture
1	97^k	100^k	1,6 p. 100	24 — 18
2	76^k	96^k	1,6 p. 100	19 — 21
3	80^k	80^k	1,3 p. 100	19 — 17
4	76^k	78^k	1,3 p. 100	22 — 20
5	62^k	62^k	2,2 p. 100	20 — 21
6	68^k	51^k	1,1 p. 100	16 — 16

L'examen des chiffres de ce tableau montre que les fils 2, 3, 4, ont une résistance mécanique aussi grande que ceux d'un bronze contenant 2 p. 100 d'étain, et comme leur conductibilité électrique est supérieure à celle de ces derniers, ils pourraient les remplacer avantageusement. Le fil n° 1 serait excellent pour les cas où les conducteurs auraient à supporter de grandes tensions. Le fil n° 6 pourrait, dans certains cas, en lui donnant un plus grand diamètre, être employé sur les lignes téléphoniques interurbaines, là où les conducteurs ont à supporter de grandes résistances mécaniques.

FILS DE FER ET FILS D'ACIER

I.

Dans mon article ci-dessus visé sur les fils de cuivre, de bronze et de quelques autres métaux, j'ai donné les

résultats des essais électriques faits sur trois échantillons de fils de fer et un échantillon de fil d'acier, en vue de déterminer les variations de la résistance électrique de chacun de ces fils avec les changements de température. Le nombre de ces expériences étant trop petit pour que les résultats obtenus puissent être considérés comme suffisamment vrais, j'ai soumis à des essais semblables, en suivant toujours la même méthode, de nouveaux échantillons de fils de fer de provenances et de diamètres différents. Les résultats obtenus sont compris dans le tableau IV ci-après :

TABLEAU IV.

NUMÉROS d'ordre des fils	DIAMÈTRES des fils	LONGUEURS soumises aux essais	RÉSISTANCE à la température initiale	TEMPÉRATURE initiative	RÉSISTANCE à la température finale	TEMPÉRATURE finale	VALEUR du coefficient α	OBSERVATIONS
	mm	m	ω	°	ω	°		
1	3,08	104	1,848	11,75	2,070	40,6	0,00437	Fils galvanisés fabriqués avec du fer homogène.
2	3,05	104	1,928	15,2	2,177	48	0,00418	
3	3,075	104	1,751	12,45	1,980	44	0,00436	
4	4,01	52	0,564	17,25	0,634	48,2	0,00431	Fils de fer ordinaires galvanisés.
5	4,095	52	0 513	12,45	0,578	42,6	0,00443	
6	4,03	52	0,559	13,4	0,626	42,5	0,00436	
7	1,005	104	16 01	13,7	19,03	54,6	0,00492	Fils ordinaires galvanisés provenant d'un même barreau de fer.
8	1 98	104	4,226	13,7	4,771	43,8	0,00452	
9	2,95	104	1,906	17	2,117	43,8	0,00438	
10	0.99	104	16,38	16	18,43	44,5	0,00489	Fils de fer ordinaires, non galvanisés, provenant du même barreau que les trois précédents.
11	1,95	104	4,253	14,6	4,816	43,7	0,00487	
12	2,97	104	1,846	13,5	2,098	43,7	0,00481	

De l'examen des nombres portés dans ce tableau on déduit plusieurs conséquences :

1° On voit que α a des valeurs presque égales pour les trois échantillons 10, 11, 12 non galvanisés, de diamètres différents, et dont la *moyenne égale*

0.004846, *nombre qu'on peut prendre pour coefficient de variation de la résistance électrique du fil de fer ordinaire non galvanisé et recuit pour une augmentation de* 1 *degré de température au-dessous de* 100 *degrés.*

Pour les échantillons 7, 8, 9 qui ne diffèrent des précédents qu'en ce qu'ils sont galvanisés, α a des valeurs très inégales et qui sont d'autant plus petites que le diamètre du fil est plus grand. Cela s'explique par l'action inégale du bain de zinc sur des fils qui ont des diamètres différents. La moyenne de ces trois valeurs est 0.00460.

2° La moyenne des valeurs de α pour les trois fils de fer homogène est égale à 0.00430. Pour les fils de fer ordinaires n°s 4, 5, 6, 9 (j'excepte les n°s 7, 8 comme étant de diamètres bien plus faibles que les autres) cette moyenne est de 0.00436 ; ces deux valeurs diffèrent si peu l'une de l'autre qu'on peut les considérer comme égales.

3° On voit par les résultats obtenus sur les échantillons 4, 5, 6 et 9, que α ne varie pas quand on passe des fils de 3 millimètres aux fils de 4 millimètres, ce qui montre que l'action du bain de zinc est la même sur les fils de ces diamètres, et on peut admettre qu'elle est aussi la même sur ceux de 5 millimètres, dont je n'ai pas eu d'échantillon à ma disposition.

4° Il suit de ce qui précède, qu'on peut prendre la moyenne des résultats obtenus sur les échantillons 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, qui *égale* 0.00434 *comme coefficient de variation de résistance correspondant à une augmentation de température de* 1 *degré, pour les fils galvanisés de* 3 *millimètres,* 4 *millimètres et au-dessus, lesquels sont en usage dans l'administration des télégraphes.*

En adoptant ce nombre, il est nécessaire de porter à 161 ohms la limite supérieure de résistance kilométrique à 0° d'un fil de fer de 1 millimètre de diamètre qui est fixée à 156 ohms dans le cahier des charges actuel.

Les résistances kilométriques en ohms légaux de tous ces fils ramenés à 1 millimètre de diamètre et à la température de 0° sont les suivantes :

Fils n° 1.	160ω.263
2.	162 .049
3.	151 .289
4.	162 .25
5.	157 .29
6.	165 .45
7.	145 .643
8.	142 .891
9.	148 .317
10.	143 .154
11.	145 .091
12.	146 .967

La moyenne des résistances des neuf fils galvanisés est égale à 155ω,049 dont le rapport à la résistance moyenne des fils de cuivre de haute conductibilité est 7,57. Pour les trois derniers échantillons, non galvanisés, le rapport analogue est égale à 7,08.

La comparaison des résistances des fils galvanisés 7, 8, 9 à celles des fils non galvanisés 10, 11, 12 montre que la galvanisation ne change pas la conductibilité électrique des fils de fer.

II.

A côté de la conductibilité électrique de ces fils de fer, il me paraît intéressant de faire connaître les ré-

sultats des essais mécaniques auxquels ils ont été soumis, et qui sont indiqués dans le tableau suivant.

Les fils y sont placés dans le même ordre que dans le tableau IV, auquel il convient de se reporter pour avoir la spécification de chacun d'eux.

TABLEAU V.

NUMÉROS des couronnes essayées	TENSIONS DE RUPTURE totale	TENSIONS DE RUPTURE par millim. carré	ALLONGEMENT à la rupture	PLIAGES à angle droit avant rupture	NOMBRE de torsions avant rupture sur $0^m,20$ de long	OBSERVATIONS
1	349^k	46^k,84	7,6 p.100	9	60	
2	326	44 ,60	13,5	15	62	
3	355	47 ,65	9,7	11	53	
4	550	47 ,28	12,6	5	30	
5	545	41 ,29	8,8	5	26	
6	512	40 ,13	10,9	8	30	
7	38	49 ,65	14,2	34		
8	135	44 ,00	16,0	11		
9	291	42 ,00	16,4	11	58	
10	35	44 ,56	21,0	44		
11	134	43 ,60	18,0	17		
12	287	42 ,57	20,2	18	67	

De l'examen des nombres portés sur ce tableau on déduit les conséquences suivantes :

1° La résistance à la rupture est à peu près la même, que le fil soit galvanisé ou non. L'allongement à la rupture est plus faible quand il est galvanisé que lorsqu'il ne l'est pas. De même, il ne peut supporter autant de pliages à angle droit avant de se rompre quand il est galvanisé que lorsqu'il ne l'est pas ;

2° Le fil homogène de 3 millimètres a une résistance à la rupture plus grande que le fil ordinaire de même diamètre, et aussi (à section égale) que le fil ordinaire de 4 millimètres ;

3° Le nombre des torsions qu'on peut faire sur lui-même, avant rupture, sur un fil de 3 millimètres est le même qu'il soit en fer homogène ou en fer ordinaire. Ce fait est très important puisqu'il montre qu'on peut, avec le fer homogène, faire des fils aussi souples qu'avec l'autre.

III.

Ce qui précède était déjà imprimé en épreuves, au moment où je venais de terminer des expériences tout à fait semblables sur des fils d'acier galvanisés, dont fait usage l'administration pour quelques lignes téléphoniques. Il me paraît utile d'en faire connaître sommairement le résultat. J'ai opéré sur cinq échantillons différents, provenant, je crois, de la même usine; leurs diamètres respectifs étaient :

2mm,05
2mm,08
2mm,00
2mm,03
1mm,97

Pour chacun d'eux, j'ai opéré sur une longueur de 104 mètres et j'ai obtenu pour α les valeurs respectives suivantes :

0,00286
0,00269
0,00348
0,00347
0,00302

dont la moyenne est 0,00317.

Ce nombre peut être pris pour coefficient de variation de résistance électrique de ce fil d'acier, pour une

augmentation de température de 1° quand celle-ci est comprise entre 1° et 100°.

Si, pour chaque échantillon, on calcule avec la valeur correspondante de α la résistance kilométrique à 0° d'un fil ayant 1 millimètre de diamètre, on trouve pour les cinq les résistances respectives suivantes :

237ω,399
259 ,372
199 ,536
204 ,265
225 ,431

dont la moyenne est de 225ω,200.

Pour les fils de fer, on a trouvé 155,049. Le rapport du deuxième au premier de ces nombres est 0,688, nombre qui représente le rapport de la conductibilité de cet acier à celle du fer à la température de 0°.

Les produits de chacune de ces résistances par la valeur correspondante de α sont les suivants :

0,678961
0,697719
0,694385
0,708799
0,680801

nombres qui sont à peu près égaux entre eux, et dont les différences ont peut-être pour cause des erreurs d'expériences. Leur moyenne est égale à 0,692133.

Si on fait la même chose pour les neuf échantillons de fils de fer galvanisés dont il est question dans cette note, on trouve neuf produits, compris entre 0,645867 et 0,727140, dont la moyenne est égale à 0,682378, nombre qui diffère peu de 0,692133 obtenu pour les fils d'acier.

On retrouve ici cette loi approximative que j'ai indi-

quée au sujet des fils de cuivre et de ses alliages : Le produit du coefficient de variation de la résistance électrique d'un fil de fer ou d'acier, de longueur et de diamètre donné, par la résistance à zéro est à peu près constant. Cette loi, également vraie quand la température est différente de zéro, peut avoir une grande application dans la pratique. On fabrique, en effet, des aciers très différents les uns des autres, et pour lesquels les valeurs de α diffèrent également entre elles. Il est possible, d'après ce principe, d'obtenir cette valeur pour un fil d'acier donné, en mesurant la résistance électrique d'une longueur de ce fil, calculant la résistance électrique à la même température d'un fil de fer de même longueur et de même diamètre, multipliant le résultat trouvé par 0,00434 et divisant le produit par la résistance électrique du fil d'acier; le quotient est une valeur approchée de α pour ce fil d'acier.

Les cinq échantillons de fils d'acier expérimentés ne se rompent que sous une traction de 108 kilogrammes par millimètre carré; l'allongement au moment de la rupture est de 1,3 p. 100 et il peut faire neuf pliages à angle droit avant de se briser. Il peut également subir dix-huit torsions en moyenne, sur lui-même, sur une longueur de $0^{m},20$, avant de se rompre.

Le détail des expériences a été exécuté sous ma direction par M. Jacquin, contrôleur, et M. François.

LAGARDE.



PROPAGATION DU COURANT ÉLECTRIQUE

SUR UNE LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE

I.

M. Vaschy a établi l'équation qui régit la propagation du courant sur une ligne, et l'a intégrée dans le cas où il s'agit d'une émission du courant d'une pile sur une ligne sans appareils (*). Cette équation, qui est une extension de celle de sir W. Thomson, suppose que la densité du courant à travers une section droite du fil est indépendante de la distance à l'axe. C'est là une hypothèse qui n'est pas toujours vérifiée, mais qui peut être considérée comme exacte dans un assez grand nombre de cas, pour valoir la peine d'être étudiée avec soin.

Nous reprendrons donc l'équation de M. Vaschy et sa méthode d'intégration, et chercherons à l'intégrer, dans le cas où la force électromotrice à l'origine de la ligne, au lieu d'être constante, est variable, et dans le cas où l'on place des appareils à l'une ou à l'autre, ou aux deux extrémités de la ligne. Le premier problème, brièvement indiqué pour le cas général, sera

(*) *Annales télégraphiques* (novembre-décembre 1888).

développé seulement pour le cas si intéressant des courants téléphoniques. L'utilité de l'étude des modifications qu'apportent les appareils au régime du courant qu'a indiqué M. Vaschy, n'a pas besoin d'être démontrée.

Nous ne tiendrons pas compte de l'isolement de la ligne : l'intégration ne présenterait pas d'autres difficultés et l'effet produit serait simplement de compliquer l'écriture. D'ailleurs pour les lignes aériennes, l'isolement est en général assez variable d'un point à un autre pour que l'erreur commise, en admettant une perte uniforme, soit d'un ordre de grandeur analogue à celui de l'erreur que l'on commet en supposant l'isolement infini; sur les lignes en câble, au contraire, l'isolement est assez grand pour que l'on puisse le négliger sans erreur sensible.

Nous partirons donc de l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CL \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + CR \frac{\partial V}{\partial t};$$

où x désigne la distance comptée à partir de l'extrémité o de la figure (*fig.* 1)

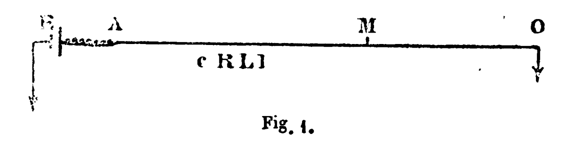


Fig. 1.

V la différence de potentiel entre le point M du fil et le point de même abscisse du conducteur de retour (fil de retour ou terre); C la capacité; R la résistance; L le coefficient de self-induction par unité de longueur; nous désignerons par l la longueur de la ligne de o en A et par i l'intensité au point M. Les

deux équations du problème sont alors

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = Ri + L\frac{\partial i}{\partial t},$$
$$-C\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial i}{\partial x}.$$

II.

Supposons maintenant que l'on mette le point A, au temps $t=0$, en communication avec un appareil produisant un potentiel $W=F(t)$.

Les conditions du problème seront alors

pour $x=0$,	$V=W$	quel que soit t;
$x=l$,	$V=0$	
pour $t=0$,	$V=0$	(sauf au point $x=0$)
et	$i=0$,	quel que soit x.

Nous poserons donc

$$\frac{V}{W} = 1 - \frac{x}{l} - 2\sum_1^\infty \frac{\varphi_n(t)}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{l}.$$

Pour $x=0$, et pour $x=l$ on a $\sin\frac{n\pi x}{l}=0$; donc les deux premières conditions sont satisfaites. D'autre part, pour $t=0$, on doit avoir $V=0$, sauf au point A où l'on a $V=F(0)$. Or ces conditions sont remplies par la fonction

$$\frac{V_0}{W_0} = 1 - \frac{x}{l} - 2\sum_1^\infty \frac{1}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{l}.$$

Donc on doit avoir $\varphi_n(0)=1$.

Posons

$$W(1-\varphi_n)=\psi_n.$$

on devra avoir $\varphi_n(0)=1$, par conséquent

$$\psi_n(0)=0.$$

D'autre part, pour $t=0$, on doit avoir $i=0$, quel que soit x, donc $\frac{\partial i}{\partial x}=0$, ou encore $\frac{\partial V}{\partial t}=0$.

Or

$$V = W\left(1-\frac{x}{l}\right) - 2\sum_1^\infty \frac{W\varphi_n}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{l}.$$

De plus, en tout point, sauf en l'origine, on a

$$1-\frac{x}{l}-2\sum_1^\infty \frac{1}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{l}=0.$$

Donc en substituant, on aura

$$V = 2\sum_1^\infty \frac{W}{n\pi}(1-\varphi_n)\sin\frac{n\pi x}{l},$$

ou encore

$$V = 2\sum_1^\infty \frac{\psi_n}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{l}.$$

Donc

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 2\sum_1^\infty \frac{1}{n\pi}\frac{d\psi_n}{dt}\sin\frac{n\pi x}{l},$$

et pour $t=0$, on doit avoir $\frac{\partial V}{\partial t}=0$, c'est-à-dire

$$\left[\frac{d\psi_n(t)}{dt}\right]_0 = 0.$$

Satisfaisons maintenant à l'équation différentielle on a

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 2\sum_1^\infty \frac{1}{n\pi}\frac{d^2\psi_n}{dt^2}\sin\frac{n\pi x}{l}$$

et

$$\frac{1}{W}\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 2\sum_1^\infty \frac{n\pi}{l^2}\varphi_n(t)\sin\frac{n\pi x}{l},$$

ou

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 2\sum_1^\infty \frac{n\pi}{l^2}(W-\psi_n)\sin\frac{n\pi x}{l}.$$

L'équation différentielle doit être satisfaite, quel que

soit x, donc

$$\frac{n^2\pi^2}{l^2} W = \frac{n^2\pi^2}{l^2} \psi_n + CR \frac{d\psi_n}{dt} + CL \frac{d^2\psi_n}{dt^2}.$$

C'est une équation différentielle du second degré qui s'intégrera en général aisément.

Supposons, par exemple, que l'on puisse développer W en une série de la forme

$$W = \sum_0^\infty \beta_m e^{\delta_m t},$$

et désignons par α_n et α'_n les racines de l'équation

$$CL\alpha^2 + CR\alpha + \frac{n^2\pi^2}{l^2} = 0,$$

par A_n et A'_n deux constantes arbitraires, et par B_m un coefficient à déterminer.

Nous poserons

$$\psi_n = A_n e^{\alpha_n t} + A'_n e^{\alpha'_n t} + \sum_0^\infty B_m e^{\delta_m t}.$$

En substituant dans l'équation en ψ_n, il viendra alors, toutes réductions faites,

$$CL B_m \delta_m^2 + CR B_m \delta_m + \frac{n^2\pi^2}{l^2} B_m = \frac{n^2\pi^2}{l^2} \beta_m.$$

D'où l'on tire

$$B_m = \frac{\beta_m}{\frac{l^2}{n^2\pi^2}(CL\delta_m^2 + CR\delta_m) + 1}.$$

On aurait alors

$$\psi_n(t) = A_n e^{\alpha_n t} + A'_n e^{\alpha'_n t} + \sum_0^\infty \frac{\beta_m e^{\delta_m t}}{1 + \frac{C l^2 \delta_m}{n^2\pi^2}(L\delta_m + R)}.$$

Les deux constantes A_n et A'_n seraient déterminées par les conditions initiales,

$$\psi_n(0) = 0,$$
$$\left(\frac{d\psi_n}{dt}\right)_0 = 0;$$

soit

$$A_n + A'_n + \sum_0^\infty \frac{\beta_m}{1 + \frac{Cl^2\delta_m}{n^2\pi^2}(L\delta_m + R)} = 0,$$

$$A_n\alpha_n + A'_n\alpha'_n + \sum_0^\infty \frac{\beta_m\delta_m}{1 + \frac{Cl^2\delta_m}{n^2\pi^2}(L\delta_m + R)} = 0.$$

Le problème est donc résolu en ce qui concerne V. On en déduirait $\frac{\partial V}{\partial x}$, et par suite i au moyen de l'équation

$$L\frac{\partial i}{\partial t} + Ri = -\frac{\partial V}{\partial x}.$$

Cette intégration entraînerait l'adjonction d'une fonction arbitraire $f(x)$, qui serait immédiatement déterminée par la condition $i = 0$, pour $t = 0$.

Nous laisserons là le cas général pour prendre le cas particulier des courants téléphoniques.

III.

Supposons donc $W = E\sin mt$.

On aura alors, en conservant les notations précédentes,

$$\psi_n = A_n e^{\alpha_n t} + A'_n e^{\alpha'_n t} + B_n \sin mt + B'_n \cos mt.$$

L'équation différentielle devant être satisfaite quel que soit t, on annulera les coefficients de $\sin mt$ et $\cos mt$, ce qui donne

$$-CLB_n m^2 - CRB'_n m + \frac{n^2\pi^2}{l^2}B_n = E\frac{n^2\pi^2}{l^2},$$

$$-CLB'_n m^2 + CRB_n m + \frac{n^2\pi^2}{l^2}B'_n = 0.$$

D'où l'on tire

$$B_n = \frac{\frac{n^2\pi^2}{l^2} - CLm^2}{\left(\frac{n^2\pi^2}{l^2} - CLm^2\right)^2 + C^2r^2m^2} \frac{n^2\pi^2}{l^2} E,$$

$$B'_n = \frac{-CRm}{\left(\frac{n^2\pi^2}{l^2} - CLm^2\right)^2 + C^2r^2m^2} \frac{n^2\pi^2}{l^2} E.$$

Posons, pour simplifier l'écriture,

$$CRm = \beta,$$
$$CLm^2 = \gamma,$$
$$\frac{n^2\pi^2}{l^2} = \varepsilon.$$

Nous aurons

$$B_n = \frac{\varepsilon - \gamma}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \varepsilon E,$$

$$B'_n = \frac{-\beta}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \varepsilon E.$$

D'ailleurs les conditions initiales donnent les deux équations

$$A_n + A'_n + B'_n = 0,$$
$$A_n \alpha_n + A'_n \alpha'_n + m B_n = 0.$$

D'où l'on tire

$$A_n = \frac{-\beta\alpha'_n - m(\varepsilon - \gamma)}{[(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2](\alpha_n - \alpha'_n)} \varepsilon E,$$

$$A'_n = \frac{m(\varepsilon - \gamma) + \beta\alpha_n}{[(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2](\alpha_n - \alpha'_n)} \varepsilon E;$$

et en résumé on a

$$\psi_n = \frac{\varepsilon E}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{[-\beta\alpha'_n - m(\varepsilon - \gamma)]\, e^{\alpha_n t}}{\alpha_n - \alpha'_n} \\ + \dfrac{[m(\varepsilon - \gamma) + \beta\alpha_n]\, e^{-\alpha'_n}}{\alpha_n - \alpha'_n} \\ + (\varepsilon - \gamma)\sin mt - \beta\cos mt \end{array} \right\}.$$

On a d'ailleurs

$$\left.\begin{matrix}\alpha_n \\ \alpha'_n\end{matrix}\right\} = -\frac{R}{2L} - \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4n^2\pi^2 L}{CR^2 l^2}}\right).$$

Posons pour simplifier l'écriture,

$$T = \frac{L}{R},$$
$$\theta = l\sqrt{CL},$$
$$\delta = 2\pi\frac{T}{\theta},$$
$$u = \frac{t}{2T}.$$

Nous aurons alors

$$\left.\begin{matrix}\alpha_n \\ \alpha'_n\end{matrix}\right\} = -\frac{1}{2T}\left(1 \pm \sqrt{1 - n^2\delta^2}\right).$$

Ces racines peuvent être réelles ou imaginaires. Pour qu'elles soient réelles, il faut que l'on ait $1 - n^2\delta^2 > 0$ ou $n\delta < 1$, comme $n \geqq 1$, il faut donc que $\delta < 1$.

Si donc $\delta > 1$, toutes les racines seront imaginaires. Si $\delta < 1$, il y aura un nombre n_0 tel que $n_0 - 1 < \frac{1}{\delta} < n_0$, et alors pour $n < n_0$, les racines seront réelles, pour $n \geqq n_0$, elles seront imaginaires.

Étudions d'abord le cas où $\delta > 1$. Toutes les racines sont imaginaires; désignons par j le symbole des imaginaires, et posons

$$n^2\delta^2 - 1 = \rho^2.$$

Il en résultera

$$\left.\begin{matrix}\alpha_n \\ \alpha'_n\end{matrix}\right\} = -\frac{1}{2T}(1 \pm j\rho).$$

D'où

$$\psi_n = \frac{\varepsilon E}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\left\{\begin{array}{l}\left[-\frac{\beta}{2T}(\rho j-1)-m(\varepsilon-\gamma)\right]\frac{e^{-u(1+\rho j)}}{-\frac{j\rho}{T}} \\ +\left[m(\varepsilon-\gamma)-\frac{\beta}{2T}(\rho j+1)\right]\frac{e^{-u(1-\rho j)}}{-\frac{j\rho}{T}} \\ +(\varepsilon-\gamma)\sin mt-\beta\cos mt\end{array}\right\}.$$

On voit immédiatement que ceci peut s'écrire

$$\psi_n = \frac{\varepsilon E}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\left\{\begin{array}{l}+e^{-u}\left[+\beta\cos\rho u-\frac{2m(\varepsilon-\gamma)T-\beta}{\rho}\sin\rho u\right] \\ +(\varepsilon-\gamma)\sin mt-\beta\cos mt\end{array}\right\}.$$

Il suffirait de substituer dans l'expression de V pour avoir sa valeur, bien facile à calculer.

Mais ce qui nous importe, c'est i,

$$-\frac{1}{W}\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{l}+2\sum_1^\infty \frac{\varphi_n(t)}{l}\cos\frac{n\pi x}{l};$$

donc

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{W}{l}+\frac{2}{l}\sum_1^\infty (W-\psi_n)\cos\frac{n\pi x}{l} = Ri+L\frac{\partial i}{\partial t},$$

$$Ri+L\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{E}{l}\left[\sin mt+2\sum_1^\infty\left(\sin mt-\frac{\psi_n}{E}\right)\cos\frac{n\pi x}{l}\right].$$

Posons

$$i = Ke^{-\frac{R}{L}t} = Ke^{-2u}.$$

Il viendra alors

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \frac{E}{Ll}e^{2u}\left[\sin mt+2\sum_1^\infty\left(\sin mt-\frac{\psi_n}{E}\right)\cos\frac{n\pi x}{l}\right].$$

On a d'ailleurs

$$t = 2Tu,$$
$$dt = 2T\,du.$$

Donc en désignant par K' une fonction de x seule-

ment, on aura

$$K = K' + \frac{E}{Ll}\left\{\begin{array}{l}\int e^{2u}\sin 2mTu \times 2T du + 2\sum_1^\infty \cos\frac{n\pi x}{l} \\ \times 2T\left(\int e^{2u}\sin 2mTu\, du - \int e^{2u}\frac{\psi_n}{E}\, du\right)\end{array}\right\}.$$

On sait d'ailleurs que

$$\int e^{au}\sin bu\, du = \frac{e^{au}}{a^2+b^2}(a\sin bu - b\cos bu),$$

$$\int e^{nu}\cos bu\, du = \frac{e^{au}}{a^2+b^2}(b\sin bu + a\cos bu).$$

Par suite, on aura

$$\int e^{2u}2T\sin 2mTu\, du = \frac{Te^{2u}}{1+m^2T^2}(\sin mt - mT\cos mt),$$

$$\int e^{u}\cos\rho u = \frac{e^u}{1+\rho^2}(\rho\sin\rho u + \cos\rho u),$$

$$\int e^{u}\sin\rho u = \frac{e^u}{1+\rho^2}(\sin\rho u - \rho\cos\rho u),$$

et en somme

$$\int\frac{\psi_n}{E}e^{2u}du = \frac{\varepsilon}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\left\{\begin{array}{l} + \frac{e^u}{1+\rho^2}\left[\begin{array}{l}\frac{\beta(1+\rho^2)-2mT(\varepsilon-\gamma)}{\rho}\sin\rho u \\ + 2m(\varepsilon-\gamma)T\cos\rho u\end{array}\right] \\ + \frac{e^{2u}}{2(1+m^2T^2)}\left\{\begin{array}{l}(e-\gamma-\beta mT)\sin mt \\ -[\beta+mT(\varepsilon-\gamma)]\cos mt\end{array}\right\}\end{array}\right\}.$$

Nous aurons donc

$$K = K' + \frac{E}{Ll}\left\{\begin{array}{l}\frac{Te^{2u}}{1+m^2T^2}(\sin mt - mT\cos mt) \\ + 2\beta Te^{2u}\sum_1^\infty\frac{\cos\frac{n\pi x}{l}}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\left[\begin{array}{l}\beta\sin mt + (\varepsilon-\gamma)\cos mt \\ -e^{-u}\left[\frac{\varepsilon+\gamma}{\rho}\sin\rho u + (\varepsilon-\gamma)\cos\rho u\right]\end{array}\right]\end{array}\right\}.$$

D'ailleurs pour $t=0$, on doit avoir $i=0$, et, par suite, $K=0$.

Donc

$$K' = \frac{mET}{Rl(1+m^2T^2)};$$

on en conclut

$$i=\frac{E}{Rl}\left\{\begin{aligned}&\frac{mTe^{-2u}}{1+m^2T^2}+\frac{\sin mt - mT\cos mt}{1+m^2T^2}\\&+2\beta\sum\frac{\cos\frac{n\pi x}{l}}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\left[\begin{aligned}&\beta\sin mt+(\varepsilon-\gamma)\cos mt\\&-e^{-u}\left[\frac{\varepsilon+\gamma}{\rho}\sin\rho u+(\varepsilon-\gamma)\cos\rho u\right]\end{aligned}\right]\end{aligned}\right\}.$$

Posons ·

$$S=\frac{\varepsilon+\gamma}{\rho}\sin\rho n+(\varepsilon-\gamma)\cos\rho u,$$
$$S_1=\beta\sin mt+(\varepsilon-\gamma)\cos mt.$$

Nous pourrons écrire

$$i=\frac{E}{Rl}\left\{\begin{aligned}&\frac{mTe^{-2u}+\sin mt - mT\cos mt}{1+m^2T^2}\\&+2\beta\sum_1^\infty\frac{S_1-Se^{-u}}{(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2}\cos\frac{n\pi x}{l}\end{aligned}\right\}.$$

Dans le cas où $\delta<1$, les $\sum_1^\infty$ des formules précédentes sont à remplacer par des $\sum_{n_0}^\infty$, et pour n compris de 1 à n_0, il y a des séries d'exponentielles que nous allons calculer et qui seront simplement à ajouter aux valeurs précédentes de V et de i.

Il faut augmenter $\frac{V}{E\sin mt}$ de la somme

$$\sum_1^{n_0-1}A_n e^{\alpha_n t}+A'_n e^{\alpha'_n t}.$$

On a d'ailleurs

$$\left.\begin{aligned}\alpha_n\\\alpha'_n\end{aligned}\right\}=-\frac{1}{2T}(1\pm\rho_1),$$

en posant $\rho_1^2=1-n^2\delta^2$, pour $n<n_0$. D'où on tire

$$A_n=\frac{-\beta(\rho_1-1)-2mT(\varepsilon-\gamma)}{2\rho_1[(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2]}\varepsilon E,$$
$$A'_n=\frac{2mT(\varepsilon-\gamma)-\beta(\rho_1+1)}{2\rho_1[(\varepsilon-\gamma)^2+\beta^2]}\varepsilon E.$$

L'intégration par rapport à t pour obtenir l'intensité se ferait de la manière la plus simple, et l'on arriverait au résultat suivant, que nous nous contentons d'écrire, en tenant compte de ce que l'on a

$$mT = \frac{mL}{R} = \frac{m^2 LC}{mRC} = \frac{\gamma}{\beta};$$

$$i = \frac{\beta E}{Rl} \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\beta \sin mt - \gamma \cos mt}{\beta^2 + \gamma^2} \\ + 2 \sum_1^\infty \dfrac{S_1}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \cos \dfrac{n\pi x}{l} \\ - 2e^{-u} \sum_{n_0}^\infty \dfrac{S}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \cos \dfrac{n\pi x}{l} \\ - e^{-u} \sum_1^{n_0} \dfrac{\frac{(\varepsilon + \gamma)}{\rho_1} (e^{\rho_1 u} - e^{-\rho_1 u}) + (\varepsilon - \gamma)(e^{\rho_1 u} + e^{-\rho_1 u})}{(\varepsilon - \gamma)^2 + \beta^2} \cos \dfrac{n\pi x}{l} \\ + \dfrac{\gamma e^{-2u}}{\beta^2 + \gamma^2} \end{array} \right\}.$$

Nous remarquons immédiatement que les seules quantités qui entrent dans ces formules sont la résistance, la capacité et la self-induction totales, et non plus par unité de longueur;

Nous désignerons donc, dans les formules qui suivent, par R, C, L les résistance, capacité et self-induction totales et non plus, comme auparavant, par unité de longueur. Ainsi le premier résultat de cette équation est le suivant : la longueur de la ligne n'intervient pas par elle-même.

Groupons ensemble les termes en $\sin mt$, $\cos mt$, et nous obtiendrons la formule suivante où l'on pose $\varepsilon = n^2\pi^2$

$$i = \frac{\beta E}{R} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{\beta}{\beta^2+\gamma^2} + 2\sum_1^\infty \frac{\beta}{\beta^2+(\varepsilon-\gamma)^2} \cos\frac{n\pi x}{l}\right] \sin mt \\ + \left[-\frac{\gamma}{\beta^2+\gamma^2} + 2\sum_1^\infty \frac{\varepsilon-\gamma}{\beta^2+(\varepsilon-\gamma)^2} \cos\frac{n\pi x}{l}\right] \cos mt \\ -2e^{-u} \sum_{n_0}^\infty \frac{\frac{\varepsilon+\gamma}{\rho}\sin\rho u + (\varepsilon-\gamma)\cos\rho u}{\beta^2+(\varepsilon-\gamma)^2} \cos\frac{n\pi x}{l} \\ - e^{-u} \sum_1^{n_0} \frac{\frac{\varepsilon+\gamma}{\rho_1}(e^{\rho_1 u} - e^{-\rho_1 u}) + (\varepsilon-\gamma)(e^{\rho_1 u} + e^{-\rho_1 u})}{\beta^2+(\varepsilon-\gamma)^2} \cos\frac{n\pi x}{l} \\ + \frac{\gamma e^{-2u}}{\beta^2+\gamma^2} \end{array} \right\}.$$

Il serait difficile de discuter une formule aussi compliquée. Remarquons simplement que nous avions, au moment de la mise en équation, six paramètres E, R, L, C, l et m. La solution du problème ne dépend que de trois paramètres $\frac{E}{R}$, CRm et CLm^2, puisque $\varepsilon = n^2\pi^2$ est une quantité numérique indépendante des conditions de la ligne.

Nous pouvons remarquer encore que la formule comprend deux sortes de termes :

Les uns, ceux en $\sin mt$ et $\cos mt$, correspondent à une sinusoïde qui est la forme du courant en régime permanent;

Les autres, comprenant un coefficient e^{-u} et par conséquent diminuant rapidement avec le temps, correspondent à la période variable.

Nous nous proposons de construire quelques courbes représentatives de la formule de l'intensité et de les publier dans un prochain article.

E. Brylinski.

Élève Ingénieur.



DE LA PROPAGATION DU COURANT

SUR UNE LIGNE ÉLECTRIQUE

1er PROBLÈME [*suite* (*)].

§ 12. *Cas des émissions télégraphiques.*

Nous avons résolu le problème suivant :

Si la ligne est mise, au départ, en communication avec une pile, quel sera le régime du courant à l'arrivée pendant la période variable, la communication étant maintenue indéfiniment?

En désignant par E la force *e. m.*, l'intensité i du courant à l'arrivée est de la forme :

$$(1) \qquad i = \frac{E}{Rl} f(t),$$

$f(t)$ étant une fonction dont nous avons calculé le développement en série de Fourier.

Si, comme dans le cas des émissions télégraphiques, la communication avec la pile, au bout d'un temps τ, est remplacée par la communication avec le sol, tout se passe comme si, à l'époque τ, on superposait à la pile $+E$ une autre égale à $-E$. Cette dernière don-

(*) Voir le numéro de novembre-décembre 1888.

nant au temps t une intensité $\frac{-E}{Rl} f(t-\tau)$, le résultat sera :

$$i = \frac{E}{Rl} f(t) \qquad \text{de} \quad t = 0 \quad \text{à} \quad t = \tau,$$

$$i = \frac{E}{Rl} [f(t) - f(t-\tau)] \qquad \text{de} \quad t = \tau \quad \text{à} \quad t = \infty.$$

Connaissant la courbe $f(t)$, on construit facilement la courbe $f(t) - f(t-\tau)$. On en trouve de nombreux exemples dans les traités sur la matière, notamment dans celui de M. Wunschendorff (*). Il est donc inutile d'insister là-dessus. Toutefois nous étudierons quelques applications particulièrement intéressantes.

Parmi les courbes du courant représentées sur les figures 3 et 4 de l'article précédent, celle qui correspond à $\delta = 1,46$ se rapproche beaucoup d'une ligne droite. Si elle se confondait rigoureusement avec la droite dont l'ordonnée est 1, la fonction $f(t)$ étant alors constante, $f(t) - f(t-\tau)$ serait nulle ; l'intensité i atteindrait alors instantanément sa valeur finale $I = \frac{E}{Rl}$, qu'elle conserverait pendant une durée τ égale à celle de l'émission, pour retomber ensuite à zéro. Les signaux dans ces conditions seraient *parfaits ;* ils pourraient se succéder, sans empiéter les uns sur les autres, à intervalles aussi rapprochés qu'on le voudrait. La courbe $C_{1,46}$, étant celle qui se rapproche le plus de la ligne droite, paraît être la plus avantageuse au point de vue de la transmission. Toutefois, on ne doit pas oublier que dans les calculs précédents il n'a pas été tenu compte des appareils placés aux extrémités de la ligne.

(*) *Traité de télégraphie sous-marine.*

2e PROBLÈME.

§ 13. *Cas d'une force électromotrice variable.*

La question suivante peut offrir un intérêt pratique :

Trouver la loi suivant laquelle le potentiel E à l'origine de la ligne doit varier pour que la courbe du courant à l'arrivée (C_1 par exemple, *fig.* 3) soit transformée en une droite d'ordonnée égale à 1, c'est-à-dire pour obtenir les conditions de transmission les plus favorables ?

Soit $\frac{dE}{d\tau}d\tau$ l'accroissement du potentiel (ou force *e. m.*) au départ pendant le temps $d\tau$. La force *e. m.* au temps t est la somme des accroissements élémentaires :

$$E = \int_0^t \frac{dE}{d\tau}\, d\tau,$$

et le courant produit à l'arrivée est la somme des courants dus à des forces *e. m.* de la forme $\frac{dE}{d\tau}d\tau$ établies respectivement à partir des époques 0, $d\tau$, $2d\tau, \ldots \tau$ $\tau + d\tau, \ldots t$. Or la force *e. m.* $\frac{dE}{d\tau}d\tau$ établie au temps τ donnera au temps t une intensité $\frac{1}{Rl}\frac{dE}{d\tau}d\tau f(t-\tau)$. Donc l'intensité résultante sera donnée par

$$(2) \qquad Rli = \int_0^t \frac{dE}{d\tau} f(t-\tau)\, d\tau.$$

Au lieu de considérer des intervalles $d\tau$ *infiniment petits*, prenons des intervalles $\delta\tau$ *très petits*, et soient :

E_0 la force *e. m.* établie brusquement au temps $t=0$; ε_1 ε_2,... les accroissements de la force *e. m.* dans les intervalles $\delta\tau$ successifs. La formule rigoureuse (2) sera remplacée par la formule approchée :

$$Rli = E_0 f(t) + \varepsilon_1 f(t - \delta\tau) + \varepsilon_2 f(t - 2\delta\tau) + \ldots$$

La ligne représentative du courant à l'arrivée sera sensiblement une droite si cette fonction i a, aux époques 0, $\delta\tau$, $2\delta\tau$,... une valeur égale à sa valeur finale en régime permanent, soit $I = \frac{E}{Rl}$, E représentant la limite vers laquelle tend la force *e. m.* variable à l'origine. Écrivons qu'il en est ainsi, en faisant successivement $t=0$, $\delta\tau$, $2\delta\tau$,... :

$$E = E_0 f(0),$$
$$E = E_0 f(\delta\tau) + \varepsilon_1 f(0),$$
$$E = E_0 f(2\delta\tau) + \varepsilon_1 f(\delta\tau) + \varepsilon_2 f(0),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

E étant donnée et les ordonnées $f(0)$, $f(\delta\tau)$,... de la courbe $f(t)$ étant connues, l'inconnue E_0 se tire de la première de ces équations, ε_1 de la seconde, ε_2 de la troisième, etc. On arrêtera les calculs lorsque la force *e. m.* $(E_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots + \varepsilon_n)$ ne diffèrera plus sensiblement de la limite E. On pourra chercher ensuite, par des procédés mécaniques ou électriques, à réaliser, dans les émissions de courant télégraphique, les variations de la force *e. m.* suivant la loi que l'on vient de calculer.

L'époque $t=0$ que nous prenons ici pour origine du temps sera celle à laquelle le courant arrive au poste récepteur; elle est en retard, sur l'époque de l'émission, du temps θ égal à la durée de la propagation le long de la ligne. Ainsi pour $\delta=1$ (voir la courbe

C_1, *fig.* 3), on a, en prenant l'intervalle $\delta\tau$ égal à $\frac{\theta}{5}$.

$$f(0) = 0{,}54,$$
$$f\left(\frac{\theta}{5}\right) = 0{,}72,$$
$$f\left(\frac{2\theta}{5}\right) = 0{,}80,$$
$$\ldots\ldots\ldots;$$

d'où :

$$E_0 = \frac{E}{f(0)} = 1{,}85\,E,$$
$$\varepsilon_1 = \frac{E - E_0 f\left(\frac{\theta}{5}\right)}{f(0)} = -\,0{,}60\,E,$$
$$\varepsilon_2 = \ldots\ldots\ldots = -\,0{,}09\,E,$$

On trouve finalement que les valeurs de la force *e. m.* aux époques 0, $\frac{\theta}{5}$, $\frac{2\theta}{5}$,..., c'est-à-dire E_0, $(E_0 + \varepsilon_1)$, $(E_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2)$,... sont : 1,85 E — 1,25 E — 1,16 E — 1,04 E — 1,02 E — E — 0,99 E — 1,01 E — 1,005 E —... On voit qu'à partir du temps $\frac{5\theta}{5} = \theta$, les variations de la force *e. m.* sont pratiquement négligeables.

La méthode précédente ne s'appliquerait pas à la courbe de Thomson, dont l'ordonnée initiale est nulle $[f(0) = 0]$, ni à des courbes d'ordonnée initiale très faible.

On a proposé, pour améliorer les transmissions, l'emploi de signaux bridés (abandonné), de condensateurs embrochés sur la ligne au départ et à l'arrivée (en usage sur les câbles sous-marins), d'électro-aimants en dérivation (essayé par M. Godfroy), etc. Ces procédés doivent évidemment être d'autant plus efficaces que la courbe du courant à l'arrivée se rapproche plus d'une droite parallèle à l'axe des abscisses,

ou que cette courbe a des contours plus raides. Nous renverrons leur examen après l'étude du rôle des appareils télégraphiques.

§ 14. *Application à la téléphonie.*

Si l'on a au départ un transmetteur téléphonique développant une force *e. m.* de la forme :

$$E = E_0 \sin mt,$$

quel sera le régime du courant à l'arrivée?

On n'a qu'à appliquer la formule (2), qui donne :

$$i = \int_0^t \frac{E_0 m}{Rl} \cos m\tau f(t-\tau)\, d\tau. \tag{3}$$

Le courant tendra vers un régime périodique permanent dans lequel i sera de la forme $i_0 \sin m(t-t_0)$, i_0 et t_0 étant des constantes. Ces constantes i_0 et t_0 se calculent très simplement sans l'emploi de la série de Fourier. Mais ce qu'il est surtout intéressant de connaître, c'est la période variable du début, dans laquelle les ondes arrivent déformées suivant une loi non périodique.

Dans le cas où l'on ne tient pas compte des appareils, en remplaçant, dans la formule (16) de l'article précédent, $\frac{i}{I}$ par $f(t)$, on aura :

$$(4)\quad \left\{ \begin{aligned} f(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} &+ 4e^{-\frac{t}{2T}} \sum_{n<\frac{1}{\delta}} (-1)^n \frac{e^{\frac{t}{2T}\sqrt{1-n^2\delta^2}} - e^{-\frac{t}{2T}\sqrt{1-n^2\delta^2}}}{2\sqrt{1-n^2\delta^2}} \\ &+ 4e^{-\frac{t}{2T}} \sum_{n>\frac{1}{\delta}} (-1)^n \frac{\sin\left(\frac{t}{2T}\sqrt{n^2\delta^2-1}\right)}{\sqrt{n^2\delta^2-1}}. \end{aligned} \right.$$

Nous rappellerons que l'on a posé :

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}}, \quad \theta = l\sqrt{\mathrm{CL}}, \quad \delta = 2\pi\frac{\mathrm{T}}{\theta},$$

en désignant par l la longueur de la ligne, et par R, C, L la résistance, la capacité et la self-induction de l'unité de longueur.

On remplacera la fonction $f(t)$ par son expression (4) dans l'intégrale (3), ce qui donnera pour i : (*)

$$(5)\quad \left\{ \begin{aligned} &\frac{\mathrm{R}l}{\mathrm{E}_0}[i - i_0 \sin m(t-t_0)] = \frac{m\mathrm{T}}{1+m^2\mathrm{T}^2} e^{-\frac{t}{\mathrm{T}}} \\ &- \frac{m}{\mathrm{T}} e^{-\frac{t}{2\mathrm{T}}} \sum_{n<\frac{1}{\delta}} \frac{(-1)^n}{\sqrt{1-n^2\delta^2}} \Bigg[\frac{\left(1-\sqrt{1-n^2\delta^2}\right) e^{\frac{t}{2\mathrm{T}}\sqrt{1-n^2\delta^2}}}{m^2 + \left(\frac{1-\sqrt{1-n^2\delta^2}}{2\mathrm{T}}\right)^2} - \frac{\left(1+\sqrt{1-n^2\delta^2}\right) e^{-\frac{t}{2\mathrm{T}}\sqrt{1-n^2\delta^2}}}{m^2 + \left(\frac{1+\sqrt{1-n^2\delta^2}}{2\mathrm{T}}\right)^2} \\ &- \frac{2m}{\mathrm{T}} e^{-\frac{t}{2\mathrm{T}}} \sum_{n>\frac{1}{\delta}} \frac{(-1)^n}{\sqrt{n^2\delta^2-1}} \frac{\left(\frac{n^2\delta^2}{4\mathrm{T}^2}+m^2\right)\sin\left(\frac{t}{2\mathrm{T}}\sqrt{n^2\delta^2-1}\right) + \sqrt{n^2\delta^2-1}\left(\frac{n^2\delta^2}{4\mathrm{T}^2}-m^2\right)\cos\frac{t}{2\mathrm{T}}\sqrt{n^2\delta^2-1}}{\frac{m^2}{\mathrm{T}^2} + \left(\frac{n^2\delta^2}{4\mathrm{T}^2}-m^2\right)^2} \end{aligned} \right.$$

i_0 et t_0 désignant les constantes dont il a été question plus haut.

(*) La formule (3) ne contenant que des intégrales de l'une des formes

$$\int e^{\alpha\tau} \cos m\tau\, d\tau,$$

ou

$$\int e^{\alpha\tau} \sin\beta(t-\tau)\cos m\tau\, d\tau = \int e^{\alpha\tau} \frac{\sin[(m-\beta)\tau + \beta t] - \sin[(m+\beta)\tau - \beta t]}{2} d\tau,$$

il suffit de rappeler qu'en dédoublant l'intégrale imaginaire

$$\int e^{(\alpha+\gamma\sqrt{-1})\tau} = \frac{e^{(\alpha+\gamma\sqrt{-1})\tau}}{\alpha+\gamma\sqrt{-1}} :$$

on en déduit :

$$\int e^{\alpha\tau}\cos\gamma\tau\, d\tau = \frac{e^{\alpha\tau}}{\alpha^2+\gamma^2}(\alpha\cos\gamma\tau + \gamma\sin\gamma\tau)$$

$$\int e^{\alpha\tau}\sin\gamma\tau\, d\tau = \frac{e^{\alpha\tau}}{\alpha^2+\gamma^2}(\alpha\sin\gamma\tau - \gamma\cos\gamma\tau).$$

Le calcul du second membre de (5) fera donc connaître l'influence de la période variable, c'est-à-dire la déformation des ondes électriques au début. Le courant i devant rester nul jusqu'au temps $t = \theta$, on fera les calculs seulement à partir de cette époque jusqu'à ce que le second membre de (5) devienne négligeable. Nous nous proposons de revenir plus tard sur ces calculs et sur la discussion des résultats.

(*A suivre.*)

VASCHY.



EXPÉRIENCES DE M. HERTZ SUR LES ONDULATIONS ÉLECTRIQUES (*)

Maxwell, développant les idées de Faraday sur le rôle du milieu diélectrique dans la transmission des actions électriques, est arrivé à cette conclusion qu'un ébranlement électrique doit se propager dans l'air avec une vitesse égale au rapport qui existe entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique de quantité. L'expérience donnant pour ce nombre la vitesse même de la lumière, on est amené à penser que les actions électriques et la lumière, non seulement sont propagées par le même milieu, mais encore qu'elles résultent de modifications de même espèce de ce milieu.

La vérification expérimentale de ces conséquences

(*) H. Hertz, *Ueber sehr schnelle electrische Schwingungen* (*Ann. Wied.*, t. XXXI, p. 421-448, mai 1887).

— *Ueber die Einwirkung einer geradlinigen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn* (*Ann. Weid.*, t. XXXIV, p. 155-170; mars 1888).

— *Ueber Inductionserscheinungen, hervorgerufen durch die electrische Vorgänge in Isolatoren* (*Ann. Wied.*, t. XXXIV, p. 273-286; avril 1888).

— *Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen* (*Ann. Wied*, t. XXXIV, p. 551-570; mai 1888).

— *Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion* (*Ann. Wied*, t. XXXIV, p. 609-620; mai 1888).

— *Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie* (*Ann. Wied*, t. XXXVI, p. 1-22; décembre 1888).

Le présent article et le suivant, traduction due à M. Joubert d'un récent mémoire de M. Hertz, ont paru dans le *Journal de physique* (mars 1889).

serait de la plus haute importance. La véritable démonstration doit consister à montrer que des ébranlements électriques de nature vibratoire, tels que ceux qui peuvent résulter de courants alternatifs, donnent naissance à des ondes capables d'interférer.

Mais, si la vitesse de propagation est celle de la lumière, c'est-à-dire une vitesse de 300.000 kilomètres par seconde, à des vibrations d'un millième de seconde, correspondront des longueurs d'onde de 300 kilomètres, et, pour avoir seulement des longueurs d'onde de 3 mètres, il ne faudrait pas que la durée de la vibration dépassât un cent-millionième de seconde.

On ne peut songer à produire directement des courants alternatifs de période aussi brève. Les oscillations qui accompagnent la décharge de la bouteille de Leyde, ou celles qui se produisent, à chaque interruption du courant inducteur, dans le fil secondaire, resté ouvert, de la bobine de Ruhmkorff, sont beaucoup plus rapides; mais on les trouve toujours comprises entre un dix-millième et un cent-millième de seconde (*).

M. Hertz a imaginé une disposition permettant d'obtenir des oscillations isochrones dont la durée ne dépasse

(*) Pour que le mouvement de l'électricité dans un conducteur prenne le caractère oscillant, il faut que ce conducteur satisfasse à la relation

$$L > \frac{R^2C}{4};$$

R désignant la résistance, C la capacité et L le coefficient de self-induction, les trois quantités étant exprimées en unités électromagnétiques. Lorsque la résistance est négligeable, auquel cas la condition est toujours satisfaite, la durée de l'oscillation simple est donnée par la formule

$$T = \pi\sqrt{CL};$$

les oscillations sont isochrones et le coefficient d'amortissement a pour valeur

$$\frac{\pi R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

guère un cent-millionième de seconde et il a réussi à montrer que ces oscillations produisent en effet des ondes capables de donner lieu à des phénomènes d'interférences.

La partie essentielle de l'appareil est une espèce d'excitateur (*fig.* 1), dont les deux branches, en prolon-

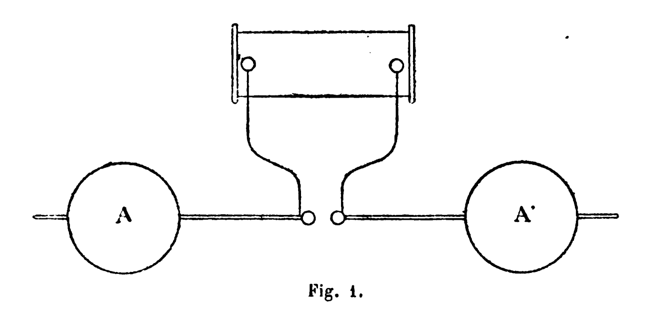


Fig. 1.

gement l'une de l'autre, sont terminées par deux grosses sphères A, A'. La tige est un fil de 5 millimètres de diamètre; les deux boules qui le terminent au point d'interruption, ont 3 centimètres de diamètre et sont écartées de $0^{cm},75$ environ. Le diamètre des deux grosses sphères est de 30 centimètres et leur distance, qu'on peut varier à volonté, est d'environ 1 mètre.

Supposons qu'on mette les deux boules au contact et que les deux sphères, réunies alors par un *conducteur continu*, soient à un instant donné portées à des potentiels différents, puis abandonnées à elles-mêmes; l'équilibre s'établira par une série d'oscillations dont la durée dépendra de la capacité et du coefficient de self-induction du système. C'est ce que M. Hertz réalise en mettant les deux boules de l'excitateur en communication permanente avec les deux bornes d'une bobine de Ruhmkorff. La bobine qu'il emploie est une

bobine de 50 centimètres de longueur et de 20 centimètres de diamètre; elle est excitée par six grands éléments Bunsen et un interrupteur à mercure.

Voici quel est le jeu de l'appareil. Au moment où l'induction se produit sur le fil secondaire de la bobine, les deux branches de l'excitateur qui en forment les extrémités, sont portées à des potentiels différents et au même instant une forte étincelle éclate entre les deux boules. Celle-ci établit, pendant un temps très court, entre ces deux boules, un passage de faible résistance, à travers lequel le conducteur rectiligne se décharge sur lui-même d'une manière indépendante, à peu près comme s'il était séparé de la bobine. Ces oscillations s'éteignent avant que l'oscillation suivante de la bobine ait eu le temps de se produire, et elles se renouvellent de la même manière à chaque oscillation de celle-ci. On peut assimiler l'état de l'excitateur à celui d'une barre dont on entretiendrait l'état vibratoire par une série de coups de marteau ou encore à celui d'une corde de violon sous l'action de l'archet qui l'entraine à ses intervalles plus ou moins réguliers et très grands par rapport à la durée des vibrations propres de la corde.

La condition essentielle du phénomène est donc que l'étincelle d'induction passe et présente une intensité convenable pour *faire le chemin* des oscillations. Si l'on écarte les boules de manière à la supprimer et à laisser ouvert le fil secondaire de la bobine on n'a plus que les oscillations propres de la bobine et celles-ci sont environ dix mille fois plus lentes que les oscillations propres de l'excitateur.

Il y aurait grand intérêt à mesurer directement la durée de ces dernières; mais la chose paraît difficile.

Tout ce qu'on peut faire, c'est de la calculer, au moins d'une manière approximative, au moyen de la formule connue

$$T = \pi\sqrt{CL}.$$

Pour l'appareil décrit plus haut, on peut admettre que la capacité se réduit à celle des sphères ; le coefficient de self-induction, à celui du fil rectiligne intermédiaire. Pour la capacité électrostatique de chacune des sphères, on a 15 centimètres ; pour le coefficient de self-induction du fil, la formule $L = 2l\left(\text{log. nép.}\,\frac{4l}{d} - 0{,}75\right)$, dans laquelle l représente la longueur du fil et α son diamètre, donne $L = 1900^{cm}$. On a donc approximativement

$$T = 1{,}77.10^{-8} \text{ secondes.}$$

L'excitateur ainsi disposé présente une propriété très remarquable. Qu'on recourbe un fil métallique de manière à en faire un circuit presque fermé, en ne laissant entre les deux extrémités qu'un intervalle d'une fraction de millimètre et qu'on le place dans le voisinage de l'excitateur, même à une distance de plusieurs mètres, on voit un flux continu d'étincelles jaillir entre les deux extrémités. M. Hertz munit les deux extrémités du fil d'un petit micromètre à étincelle qui lui permet de varier et de mesurer la distance explosive.

En répétant l'expérience avec des circuits de même forme, circulaires par exemple, mais de grandeurs différentes, on trouve une dimension pour laquelle l'étincelle présente un maximum très marqué. Pour les dimensions plus petites ou plus grandes, le flux est moins nourri et la distance explosive moindre. Il est évident que cette dimension est celle pour laquelle les oscillations propres du cadre ont la même durée que celles de

l'excitateur. Le cadre, à l'*unisson* de l'excitateur agit à la manière d'un *résonnateur*. C'est ce nom que nous lui donnerons désormais. Le résonnateur employé par M. Hertz est un cercle de 35 centimètres de rayon.

L'expérience montre que la résistance du circuit fermé n'a aucune influence; tout ce qui modifie sa forme ou sa capacité en a, au contraire, une considérable. Pour achever le réglage des deux appareils et les mettre exactement à l'unisson, on peut, ou bien modifier l'écartement des deux sphères de l'excitateur, ou bien suspendre vers les extrémités du résonnateur deux petits bouts de fils métalliques parallèles dont on fait varier l'écartement ou la longueur.

Examinons maintenant la nature des actions produites par l'excitateur. Ces actions sont de deux espèces, les unes électrostatiques, les autres électro-magnétiques.

Les actions électrostatiques sont dues aux variations alternatives de potentiel des deux sphères A et A'. La distribution des lignes de force à un instant donné est à peu près celle qui correspondrait à deux masses égales et de signes contraires, placées au centre des sphères. Toutes les lignes de force aboutissent à ces deux points et sont dans des plans passant par l'axe de l'excitateur.

Les actions électro-magnétiques sont dues aux courants alternatifs qui parcourent le conducteur rectiligne; les lignes de force, au moins dans la partie moyenne, sont des circonférences concentriques à l'axe de l'excitateur.

Les deux actions ont évidemment la même période; mais les maxima de l'une correspondent aux minima de l'autre. Mais si on remarque que l'action électrique

produit par les variations de l'action électro-magnétiques présente avec celle-ci une différence de phase égale à $\frac{1}{4}$. On voit que les deux actions concordent et pour la période et pour la phase.

Ces deux actions décroissent inégalement avec la distance; la première varie sensiblement en raison inverse du cube, la seconde en raison inverse de la simple distance.

Supposons le résonnateur placé dans une région où le champ des deux actions soit uniforme, et considérons successivement chacune d'elles.

L'action électrostatique est nulle, quand le plan du cadre est perpendiculaire aux lignes de force; elle est maximum, quand le plan du cadre est parallèle à ces lignes. Mais dans ce cas, elle dépend de la situation relative de l'interruption *m*, ou, en appelant *ligne de symétrie du cadre* la ligne *nm* qui passe par l'interruption et par le centre, de la position de la ligne de symétrie. Si la ligne de symétrie est parallèle au champ (*fig.* 2), la force tend à porter les deux extrémités au même potentiel et ne peut donner d'étincelles; il est facile de voir, au contraire, que l'action sera maximum, quand la ligne de symétrie sera perpendiculaire au champ (*fig.* 3).

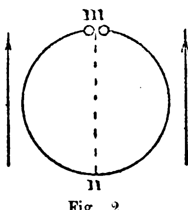


Fig. 2.

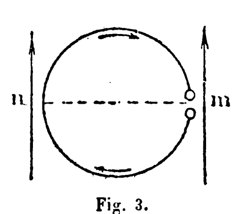


Fig. 3.

Quant à l'action électro-magnétique, elle ne dépend que de la valeur du flux de force qui traverse le cadre, et reste la même quelle que soit la position de la ligne de symétrie. L'action est nulle quand le

plan du cadre est parallèle au champ, maximum quand il est perpendiculaire.

En particulier, le résonnateur est soustrait à toute action de la part de l'excitateur, quand son plan coïncide avec le plan de symétrie de ce dernier.

En général, l'étincelle observée sera due à la résultante des deux actions. On peut en obtenir ayant jusqu'à 6 à 7 millimètres de longueur. L'action électrostatique est généralement prédominante aux faibles distances.

Arrivons maintenant aux expériences d'interférences. Je commencerai par les dernières que M. Hertz ait publiées, comme étant celles qui présentent les conditions les plus simples. Elles consistent à déterminer les nœuds des ondes stationnaires résultant de l'interférence des ondes directes avec les ondes réfléchies par une paroi plane. C'est, appliquée aux ondes électriques l'expérience bien connue de Savart sur l'interférence des ondes sonores directes et des ondes réfléchies par un mur.

L'excitateur employé par M. Hertz diffère un peu de celui qui a été décrit plus haut; les deux grosses sphères sont remplacées par des plaques carrées de laiton de $0^m,40$ de côté et distantes de $0^m,40$. Le calcul donne pour durée de l'oscillation propre 1,4 cent-millionième de seconde. Le résonnateur est encore un cercle de $0^m,35$ de rayon, convenablement ajusté.

L'expérience était faite dans une grande salle. L'excitateur était à l'une des extrémités, son axe étant placé verticalement. Le mur opposé, situé à une dizaine de mètres, était recouvert d'une feuille de zinc en communication avec le sol.

Les mouvements vibratoires provoqués par l'excitateur viennent se réfléchir sur la surface métallique. Les

ondes réfléchies interférant avec les ondes directes donnent naissance à des ondes stationnaires séparées par des nœuds fixes. Mais nous avons en réalité deux systèmes d'ondes. La force électrique étant nulle à l'intérieur d'un conducteur parfait, les ondes électrostatiques doivent se réfléchir sans perte d'intensité et avec changement de signe. Le premier nœud doit se trouver sur la surface réfléchissante même. L'expérience montre qu'il se trouve un peu en arrière de la surface en A, le suivant en C, et que l'état vibratoire peut être représenté par la ligne pleine (*fig.* 4). Au contraire, l'action

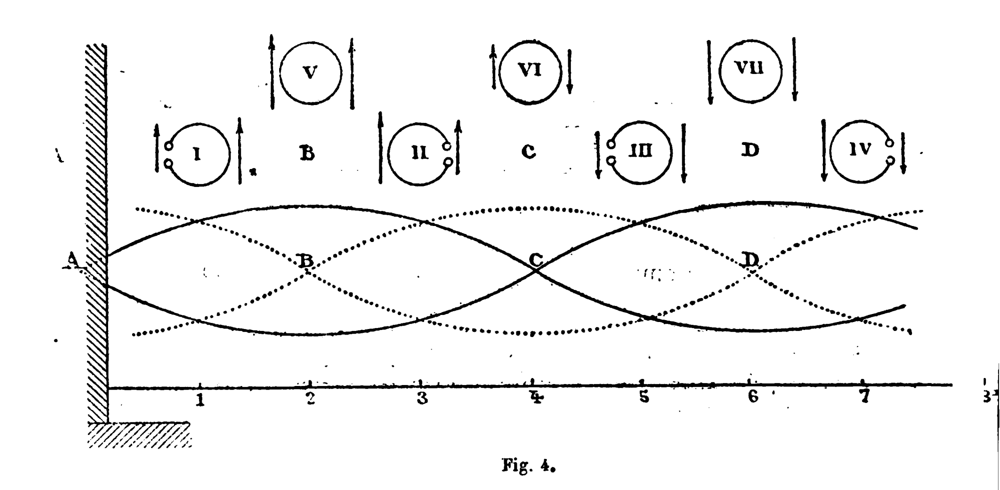


Fig. 4.

électro-magnétique s'exerçant à l'intérieur du conducteur, la réflexion de l'onde électro-magnétique doit se faire sans changement de signe, comme dans un tuyau ouvert, et la surface réfléchissante correspond à un ventre. Si la vitesse de propagation des deux systèmes d'onde est la même, le mouvement vibratoire sera représenté par la ligne ponctuée, et les nœuds des deux

systèmes se succéderont à des distances égales au quart de la longueur de l'ondulation complète.

Tel est en effet l'état de choses que révèle le résonnateur. Plaçons son centre sur la perpendiculaire abaissée de l'interruption de l'excitateur sur la surface réfléchissante, ligne que nous appellerons la *normale d'incidence*, et supposons son plan vertical : s'il est parallèle à la normale d'incidence, nous dirons qu'il est dans le plan de vibration ; s'il est perpendiculaire à la normale, nous dirons qu'il est dans le plan de l'onde. Au nœud C ou au voisinage immédiat de la paroi, le résonnateur placé dans le plan de l'onde ne donne pas d'étincelles ou du moins des étincelles extrêmement faibles, quelle que soit la position de la ligne de symétrie *mn*. Les étincelles manquent également en B et en D, si, plaçant le résonnateur dans le plan de vibration, on met la ligne de symétrie *mn* verticale (positions V et VII de la figure). Quand le résonnateur est dans le plan de vibration, pour avoir le maximum d'étincelles, il faut rendre horizontale la ligne de symétrie; l'étincelle est beaucoup plus forte quand l'interruption est du côté du nœud que dans la position contraire. Ainsi, pour avoir la plus forte étincelle, il faut placer le cadre comme on le voit dans les positions I, II, III, IV (*fig.* 4).

L'étude attentive de tous ces phénomènes et leur discussion montrent que, dans le cas des expériences de M. Hertz, deux nœuds de même espèce sont séparés par une distance de $4^{m},5$. En admettant la durée calculée de $1,4.\ 10^{-8}$ secondes, on en déduit une vitesse de propagation de $3,2.\ 10^{10}$ centimètres ou 320.000 kilomètres par seconde, c'est-à-dire sensiblement la vitesse de la lumière.

Passons maintenant à un autre ordre d'expériences.

L'excitateur à plaques ayant son axe horizontal, on place derrière une des plaques, la plaque A par exemple (*fig.* 5), une plaque P de même dimension, réunie,

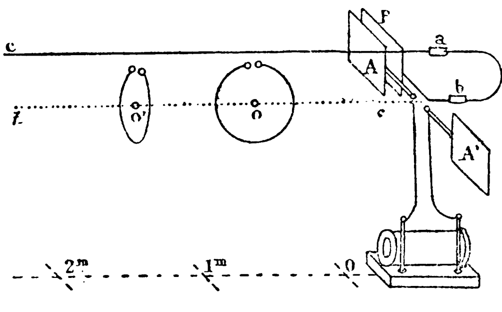


Fig. 5.

comme le montre la figure, à un fil de cuivre *abc* tendu horizontalement dans la plan de symétrie de l'appareil. On peut à volonté donner à ce fil une longueur finie et le maintenir isolé, ou le prolonger autant que possible en dehors de la salle, en mettant son extrémité en communication avec le sol.

Prenons le fil dans la première condition : les mouvements électriques développés dans la plaque P par l'influence de la plaque voisine, se transmettent dans le fil et, en se réfléchissant à l'extrémité, donnent naissance à des ondes stationnaires; à partir de son extrémité, le fil est partagé par des nœuds en concamérations fixes. A tout instant, deux concamérations consécutives sont le siège de mouvements de sens contraires. Il s'agit de déterminer par expérience la position des nœuds.

A cet effet, plaçons le résonnateur dans le plan vertical de symétrie en O, l'interruption tournée du côté

du fil. Il est ainsi soustrait à l'action directe de l'excitateur et soumis seulement à l'action électro-magnétique des courants du fil. On trouve cette action nulle à l'extrémité et à des distances successives de $2^m,8$ à partir de cette extrémité. Ces positions correspondent à des nœuds de vibration.

En coupant le fil à l'un des nœuds, on ne change rien dans la partie restante; c'est l'analogue de l'expérience bien connue de la flûte à segments égaux. Si on laisse en place la partie coupée, elle continue à être le siège des mêmes mouvements, mais avec une intensité moindre.

La demi-longueur d'onde dans le fil est donc de $2^m,8$; la durée de la période est celle de l'excitateur. Celle-ci étant de $1,4.10^{-8}$ secondes, on en déduit, pour la vitesse de propagation dans le fil,

$$V = 2.10^{10} \text{ centimètres},$$

c'est-à-dire une vitesse égale au deux tiers de la vitesse de la lumière dans le vide.

M. Hertz a constaté que la distance des nœuds ne change pas quand on remplace le fil par un autre de diamètre différent ou d'une autre nature, même par un fil de fer, ce qui conduirait à conclure que la vitesse de propagation est la même dans tous les fils. Est-elle aussi indépendante de la période? C'est ce qu'il serait intéressant de vérifier (*).

Revenons maintenant au fil supposé indéfini. Quand

(*) Sir W. Thomson a démontré, en 1854, que si l'on fait varier le potentiel à l'extrémité d'un fil suivant une loi harmonique simple, une phase déterminée du potentiel à l'origine se transmet le long du fil avec une vitesse constante égale à $\sqrt{\frac{2n}{\gamma\rho}}$, n désignant le nombre des vibrations simples

le plan du résonnateur est dans le plan vertical du fil, l'interrupteur en haut, l'action de l'excitateur est nulle et le fil agit seul; si l'on fait tourner le cadre de 90° autour d'un axe vertical, et qu'on amène son plan perpendiculaire au fil, comme en O′, l'action du fil est nulle et celle de l'excitateur subsiste seule. En faisant varier convenablement la distance de la plaque P à la plaque A, on peut rendre égales les étincelles obtenues dans les deux cas. Pour toute position intermédiaire du cadre, les deux causes agiront simultanément; mais, en général, l'effet sera différent quand la normale au cadre sera tournée vers A ou vers A′. En effet, dans les deux positions, l'action de l'excitateur, qui est surtout une action électrostatique, reste de même grandeur et de même sens; tandis que l'action du fil qui est une action électro-magnétique change de signe, le flux pénétrant dans les deux cas par des faces opposées du cadre; de telle sorte que, si les actions s'ajoutent, pour l'une des positions de la normale, elles se retranchent pour l'autre. Or, si l'on répète l'expérience à des distances différentes, on trouve qu'en deux positions distantes environ de $7^{m},5$, le phénomène reprend la même intensité, mais en sens contraire, c'est-à-dire que, si dans la première, l'étincelle était maximum quand la normale était tournée vers A, dans la seconde, elle est maximum quand la normale est tournée vers A′.

par seconde, γ la capacité et ρ la résistance du fil par unité de longueur. Mais il ne tenait compte que de la résistance et de la capacité du fil, ce qui suffit, en effet, pour les oscillations lentes. Pour les oscillations très rapides, il faut en outre tenir compte de l'induction propre du fil. Dans ce cas, le calcul indique que, quand n augmente, la vitesse tend vers une valeur indépendante de la résistance et de la période.

Cette conclusion paraît vérifiée par les nouvelles expériences de M. Hertz.

Or nous savons comment le mouvement électrique se propage dans le fil. Pour le mouvement qui, venant de l'excitateur, se propage dans l'air, nous pouvons faire trois hypothèses : ou la vitesse est infinie, et alors les changements de signe dépendent uniquement de ceux qui ont lieu dans le fil, ils doivent se reproduire à des intervalles de $2^m,8$; ou, étant finie, elle est égale à celle du fil, mais alors le renversement de sens observé ne serait plus possible; ou enfin, étant toujours finie, elle est différente de celle du fil et, dans ce cas, le phénomène doit se représenter le même, mais en signe contraire chaque fois que l'un des mouvements a gagné sur l'autre une demi-longueur d'ondulation. Si l'on désigne par λ et λ' les demi-longueurs d'ondulation dans l'air et dans le fil et par d la distance trouvée, on a

$$n\lambda = (n+1)\lambda' = d;$$

prenant $d = 7^m,5$, $\lambda' = 2^m,8$, on en déduit

$$\lambda = 2,8\,\frac{7,5}{4,7} = 4^m,5,$$

ce qui, pour une période de $1,4.10^{-8}$ secondes, donne

$$V = 3,2.10^{10} \text{ centimètres.}$$

c'est-à-dire la vitesse déjà trouvée dans l'expérience précédente.

Telles sont, dans leurs détails essentiels, les expériences de M. Hertz. Ces expériences pourront certainement être répétées avec des procédés d'exploration et de mesure plus délicats, et dans des conditions encore plus caractéristiques; mais, telles qu'elles sont, elles ne paraissent laisser aucun doute sur la propagation des actions électriques par le milieu, et, à ce

point de vue, elles ouvrent une ère pleine de promesses, non seulement pour la théorie de l'électricité, mais encore celle de la lumière.

M. Hertz a mesuré des longueurs d'ondulation de 10 mètres environ : celles des rayons visibles sont en moyenne de 0^m,0000005, c'est-à-dire vingt millions de fois plus petites, et correspondent par conséquent à des vibrations vingt millions de fois plus rapides. Dans ces derniers temps, M. Langley a constaté l'existence de longueurs d'ondulation atteignant 30 millièmes de millimètre. L'abîme est encore large entre les longueurs d'ondulation de M. Hertz et celles de M. Langley, puisqu'elles sont dans le rapport de 300.000 à 1; mais il n'est pas téméraire d'espérer qu'il sera bientôt comblé et que nous pourrons voir les oscillations élastiques produire directement de la lumière et les vibrations lumineuses de l'électricité.

J. JOUBERT.

SUR LES RAYONS DE FORCE ÉLECTRIQUE (*)

Dès que j'eus réussi à montrer que les oscillations électriques produisent des actions qui se transmettent dans l'air sous forme d'ondes, j'essayai d'obtenir des effets plus marqués et sensibles à de plus grandes distances, en plaçant le conducteur rectiligne qui fournissait ces oscillations sur la ligne focale d'un cylindre parabolique faisant fonction de miroir concave de grandes dimensions. L'essai ne réussit pas et la cause en était simple : les dimensions du miroir n'étaient point en rapport avec la longueur d'onde employée, laquelle était de 4 à 5 mètres. Ayant reconnu plus tard que je pouvais reproduire les mêmes phénomènes avec des oscillations au moins dix fois plus rapides et par suite avec des ondes dix fois plus courtes, j'ai repris l'expérience du miroir, laquelle a alors réussi au delà de mes espérances. J'ai pu produire de véritables rayons de force électrique et répéter avec eux les expériences fondamentales auxquelles donnent lieu les rayons lumineux ou calorifiques. C'est de ces expériences que je me propose de rendre compte.

Les appareils. — Le moyen employé pour obtenir des ondes très courtes est toujours le même. Je définirai en deux mots le nouvel excitateur, en disant que c'est un cylindre de laiton de 3 centimètres de diamètre et

(*) *Sitzungsberichte der K. P. Akad. der Wissenschaften zu Berlin*, t. L, p. 1297; 1888.

de 26 centimètres de longueur, lequel est coupé en son milieu pour le passage de l'étincelle. Les deux parties en regard sont terminées par des surfaces sphériques de 2 centimètres de rayon. La longueur du conducteur ne peut différer beaucoup de la demi-longueur des ondes que ses oscillations développent dans un fil rectiligne : c'est une première indication sur la durée de l'oscillation. Il est essentiel que les surfaces terminales entre lesquelles éclate l'étincelle soient très souvent polies à nouveau; il faut aussi avoir bien soin de les soustraire à l'éclairement d'étincelles voisines : autrement les oscillations ne se produisent pas (*). On reconnaît du reste facilement si tout marche bien, à l'aspect et au bruit de l'étincelle.

Les deux moitiés de l'excitateur sont reliées aux pôles de la bobine par deux gros fils de cuivre recouverts de gutta-percha; ils viennent s'attacher tout près de l'interruption. Au lieu de la grosse bobine de Ruhmkorff des expériences précédentes, j'ai employé avec avantage un petit appareil à étincelles de Keiser et Schmidt, donnant au maximum des étincelles de 4^{cm} à 5^{cm} entre deux pointes. Il était excité par trois accumulateurs et pouvait donner, entre les deux surfaces sphériques de l'excitateur, des étincelles de 1 à 2 centimètres. Dans les expériences on réduisait la distance explosible à 3 millimètres.

Le mode d'exploration employé est toujours la

(*) Dans le cours de ses recherches, M. Hertz a observé une influence très curieuse de l'étincelle électrique sur une étincelle voisine (*Ann. de Wiedemann*, t. XXXI, p. 983, et t. XXXIV, p. 169).

La lumière qui émane d'une étincelle, ou mieux la partie violette de cette lumière, tombant sur les boules d'un excitateur voisin, favorise la production de l'étincelle entre les boucles de cet excitateur, mais elle met obstacle à la production des oscillations qui lui sont propres. J. J.

production de petites étincelles dans un conducteur secondaire. J'employais souvent, comme dans mes premières expériences, un cercle presque fermé sur lui-même et ayant à peu près la même durée d'oscillation propre que l'excitateur. Il n'avait dans le cas actuel que $7^{cm},5$ de diamètre. C'était un fil de cuivre de 1 millimètre : l'une des extrémités était terminée par une petite sphère de laiton polie de quelques millimètres de diamètre ; l'autre portait une pointe qu'une vis isolée permettait d'amener à une distance voulue de la boule. On n'obtient jamais que des étincelles de quelques centièmes de millimètre de longueur, et le plus souvent il faut pour juger de l'intensité de l'action s'en rapporter à l'éclat des étincelles plutôt qu'à leur longueur.

Le résonnateur circulaire ne donne jamais que la différence de deux actions et n'a pas une forme qui permette de le placer sur la ligne focale du miroir concave. Aussi me suis-je servi le plus souvent, dans les expériences actuelles, d'un conducteur disposé comme il suit : deux fils rectilignes, de 5 millimètres de diamètre et de 50 centimètres de longueur, sont placés en prolongement l'un de l'autre avec une distance de 5 centimètres entre leurs extrémités en regard. De ces deux extrémités partent deux fils de 1 millimètre de diamètre et de 15 centimètres de longueur, perpendiculaires aux premiers et parallèles entre eux et qui se terminent par un micromètre à étincelles disposé comme celui du résonnateur circulaire. Avec cette disposition on se prive à peu près complètement des effets de résonance. On aurait pu laisser l'interruption sur l'axe même du fil; mais, quand l'appareil aurait été placé sur l'axe du miroir, on n'aurait pu observer

l'étincelle qu'en masquant une partie de la surface. La disposition adoptée m'a paru la plus avantageuse.

Production du rayon. — En se plaçant dans une grande salle, on peut avec le nouvel excitateur et le résonnateur circulaire, répéter, mais à une échelle moindre, les expériences des mémoires précédents. La plus grande distance à laquelle les étincelles sont encore perceptibles est de $1^{m},5$, ou 2 mètres dans des conditions exceptionnelles. L'action est augmentée quand, de l'autre côté de l'excitateur par rapport à l'observateur, on place à une distance convenable et parallèlement aux oscillations, un plan conducteur. A une distance très petite et à une distance un peu supérieure à 30 centimètres l'action du plan est plutôt nuisible; mais elle a un effet favorable très marqué à une distance de 8 à 15 centimètres; marqué encore, mais beaucoup moins, à 45 centimètres; au delà il n'y a plus d'effet sensible. Ce fait a été expliqué antérieurement; dans le cas actuel, il montre que la demi-longueur d'onde qui correspond aux vibrations de l'excitateur est d'environ 30 centimètres dans l'air. On aura évidemment un renforcement plus marqué quand on remplacera la paroi plane par un miroir concave ayant la forme d'un cylindre parabolique et qu'on fera coïncider l'axe de l'excitateur avec la ligne focale. Pour obtenir une concentration énergique, il faut prendre la distance focale aussi petite que possible; d'autre part, il ne faut pas que les ondes directes nuisent à l'action des ondes réfléchies; pour cela il faut, comme on vient de le voir, que la distance focale ne soit guère inférieure au quart de la longueur d'onde. J'ai adopté $12^{cm},5$ pour la distance focale. Le miroir a été fait d'une feuille de zinc d'un demi-millimètre

d'épaisseur, formant un carré de 2 mètres de côté et qu'on a cintrée sur un châssis en bois qui avait la courbure voulue. Le miroir avait 2 mètres de hauteur, $1^m,2$ d'ouverture et $0^m,7$ de flèche. L'excitateur était fixé au milieu de la ligne focale. Les fils de charge traversaient le miroir ; la bobine et la pile étaient derrière, ce qui évitait tout embarras. En explorant avec le résonnateur l'état du milieu dans le voisinage, on ne constate aucune action ni derrière le miroir, ni sur les côtés ; mais, dans la direction de l'axe optique, les étincelles restent visibles jusqu'à une distance de 5 à 6 mètres. A une distance plus grande, à 9 ou 10 mètres par exemple, elles sont encore perceptibles dans le voisinage d'une paroi conductrice perpendiculaire à l'axe. On trouve aussi qu'en certains points les ondes réfléchies renforcent les ondes incidentes ; dans d'autres, qu'elles les affaiblissent. Le résonnateur rectiligne met en évidence d'une façon très nette, en avant du plan, les maxima et les minima qui caractérisent les ondes stationnaires. J'ai pu constater l'existence d'un premier nœud sur la surface même ; les autres étaient à des distances de 33, 65 et 98 centimètres. On déduit de là, avec une grande approximation, que la demi-longueur d'onde est de 33 centimètres et la durée d'oscillation correspondante de 1,1 billionième de seconde, étant admis que la vitesse de propagation est celle de la lumière. Dans un fil, la même oscillation donne une onde de 29 centimètres. Ici encore, la vitesse de propagation dans un fil est plus petite que dans l'air ; mais le rapport des deux vitesses diffère moins de l'unité que dans les premières expériences où la période était plus longue. C'est un résultat remarquable et qui mérite attention.

L'action n'étant sensible que dans le voisinage de l'axe optique, son champ peut être considéré comme un *rayon électrique* émanant du miroir concave.

Prenons maintenant un second miroir concave identique au premier et plaçons sur la ligne focale les deux fils de 50 centimètres du résonnateur rectiligne, les deux fils auxiliaires qui vont au micromètre traversant la paroi tout en restant isolés. Le micromètre se trouve ainsi derrière le miroir et l'on peut observer l'étincelle tout à son aise, sans masquer le miroir. Je m'attendais, en recevant le rayon sur le second miroir, à observer les phénomènes à des distances beaucoup plus grandes : je ne m'étais pas trompé. J'obtenais des étincelles, en utilisant tout l'espace dont je pouvais disposer. En faisant passer le rayon par une porte, je pouvais aller jusqu'à 16 mètres; les résultats obtenus montrent qu'on aurait encore des étincelles sensibles à des distances de plus de 20 mètres. Pour les recherches que j'avais en vue, ces grandes distances n'étaient pas nécessaires, d'ailleurs, il y a avantage à opérer avec des étincelles qui ne soient pas trop faibles. Dans le cas actuel, la distance la plus convenable est de 6 à 10 mètres. Voici maintenant les expériences très simples qu'on peut faire avec le rayon. A moins d'indications contraires, les lignes focales des deux miroirs sont toujours verticales.

Propagation rectiligne. — Supposons les axes optiques des deux miroirs en coïncidence. On interpose perpendiculairement à l'axe commun une feuille de zinc de 2 mètres de haut et de 1 mètre de large : l'étincelle disparait. Même effet avec un cadre recouvert d'une feuille d'étain ou de papier doré. L'étincelle disparaît également, quand un aide se place sur le

trajet du rayon et elle reparaît sitôt qu'il s'en écarte. Les corps isolants, au contraire, ne produisent aucun effet. Le rayon traverse parfaitement une planche de bois, une porte; et ce n'est pas sans étonnement qu'on voit les étincelles continuer à se produire dans la pièce voisine après qu'on a fermé la porte. Deux écrans métalliques de 2 mètres de haut sur 1 mètre de large, placés symétriquement à gauche et à droite du rayon, n'ont aucun effet sur l'étincelle, tant que leur distance est supérieure à $1^{m},2$; mais, dès que l'intervalle devient plus étroit, les étincelles diminuent; elles disparaissent complètement quand l'intervalle est moindre que 50 centimètres. Si on laisse à la fente la largeur de $1^{m},2$, mais qu'on la déplace latéralement dans un sens perpendiculaire au rayon, on fait également disparaitre l'étincelle.

Enfin, quand on déplace seulement de 10 degrés à droite ou à gauche l'axe de l'un des miroirs, l'étincelle devient très faible et elle disparaît complètement quand la déviation est de 15 degrés. Le rayon a donc un contour parfaitement arrêté; il n'en est pas de même des ombres; on constate des phénomènes évidents de diffraction. Cependant je n'ai pu encore constater l'existence de maxima et de minima à la limite de l'ombre.

Polarisation. — Notre rayon est constitué par des vibrations transversales; comme on dit en optique, il est polarisé rectilignement; c'est ce qui résulte d'une manière indiscutable de la façon dont il est produit. Mais nous pouvons vérifier le fait expérimentalement. Faisons tourner le miroir récepteur autour du rayon comme axe, jusqu'à ce que la ligne focale et l'axe du résonnateur prennent la position horizontale, l'étincelle

va en diminuant à mesure que l'inclinaison augmente et cesse complètement quand les deux lignes focales sont en croix, alors même que les deux miroirs sont très voisins. Ils agissent alors, l'un comme le polariseur, l'autre comme l'analyseur d'un appareil de polarisation.

En tendant sur un cadre en bois de 2 mètres carrés une série de fils de cuivre parallèles entre eux, j'ai construit une espèce de réseau ; les fils avaient 1 millimètre et étaient distants de 3 centimètres. Les deux lignes focales étant parallèles, on place le cadre perpendiculairement au rayon. Si les fils sont perpendiculaires aux lignes focales, l'effet sur l'étincelle est nul. Si, au contraire, les fils sont parallèles aux lignes focales, le rayon est complètement intercepté. Au point de vue de la transmission de l'énergie, le réseau se comporte vis-à-vis de notre rayon, comme une tourmaline par rapport à un rayon lumineux polarisé rectilignement. Plaçons horizontalement la ligne focale du second miroir : l'étincelle ne se produit pas quand les fils sont horizontaux ou verticaux ; mais, si on les incline, dans un sens ou dans l'autre, à 45 degrés, on la fait reparaître.

Il est évident que le réseau décompose la vibration incidente en deux autres et laisse seulement passer celle des deux composantes qui est perpendiculaire à la direction des fils ; cette composante qui fait un angle de 45 degrés avec la ligne focale du miroir se décompose elle-même en deux autres dont l'une seulement contribue à la production de l'étincelle. C'est tout à fait l'analogie de l'expérience qui consiste à faire reparaître la lumière dans le champ de deux nicols croisés, en interposant une tourmaline sous une orientation convenable.

J'ajouterai encore quelques remarques au sujet de la polarisation.

Le procédé d'exploration que nous employons ne nous fait connaître que la force électrique totale. Quand l'axe de l'excitateur est vertical, les oscillations de la force électrique s'effectuent nécessairement dans le plan vertical du rayon; il n'y a rien dans le plan horizontal. D'après ce que nous savons des courants à oscillations lentes, nous devons supposer que les oscillations électriques sont accompagnées d'oscillations de la force magnétique, ces dernières s'effectuant dans le plan horizontal et ne donnant rien dans le plan vertical. La polarisation du rayon n'est donc pas caractérisée seulement par le fait qu'il n'existe de vibrations que dans le plan vertical, mais par cette double condition que les vibrations qui s'exécutent dans le plan vertical sont de nature électrique et celles qui s'exécutent dans le plan horizontal de nature magnétique. Si donc l'on demande simplement quel est le plan de vibration du rayon, sans dire s'il s'agit de vibrations électriques ou magnétiques, la question n'a pas de réponse. Ces considérations expliquent pourquoi toutes les controvereses qui ont été soulevées à propos de ce problème d'optique, sont restées sans résultat. C'est du reste ce qui a été établi d'une manière très claire par M. Kolacek dans un Mémoire récent (*).

Réflexion. — Nous avons déjà mis en évidence le phénomène de la réflexion en constatant l'interférence des ondes directes avec les ondes réfléchies et nous l'avons utilisé dans la construction de nos miroirs. Dans ces deux cas l'onde réfléchie se superpose à

(*) F. Kolacek, *Ann. Wied.*, t. XXXIV, p. 676.

l'onde directe; rien n'est plus facile que de séparer l'un de l'autre les deux systèmes d'ondes.

Au milieu de la salle, je place côte à côte les deux miroirs, en tournant leurs ouvertures du même côté et de telle manière que leurs axes optiques se coupent à une distance de 3 mètres. Naturellement l'excitateur ne donne rien dans le miroir récepteur. Mais si, à l'intersection des deux axes et perpendiculairement à la bissectrice de leur angle, on place un plan vertical constitué par une feuille carrée de zinc de 2 mètres de côté, on obtient un flux nourri d'étincelles, par suite de la réflexion du rayon sur le miroir plan. Les étincelles disparaissent dès qu'on fait tourner le plan autour d'un axe vertical, dans un sens ou dans l'autre, seulement d'une quinzaine de degrés. Il s'agit donc bien d'une réflexion régulière et non d'une diffusion.

Si l'on éloigne le plan et qu'en même temps on déplace un des miroirs, de manière que le plan passe toujours par l'intersection des deux axes, les étincelles ne diminuent que très lentement. On les voit encore très bien à une distance de 10 mètres, alors que les ondes ont parcouru une distance de 20 mètres.

Cette disposition pourrait être employée avec avantage, si l'on avait à comparer la vitesse de propagation dans l'air à une vitesse de propagation moindre, dans un fil par exemple.

Pour étudier la réflexion en dehors de l'incidence normale, j'ai disposé le rayon parallèlement à un des murs de la salle, lequel présentait une baie fermée par une porte à deux vantaux. Le miroir récepteur était placé dans la pièce à laquelle cette porte donnait accès; il était tourné de manière que son axe passât par le milieu de la porte et fût perpendiculaire au

rayon. Au point de croisement était dressé verticalement le plan conducteur, faisant un angle de 45 degrés avec les deux directions. Le résonnateur donne des étincelles qui continuent après qu'on a fermé la porte. Il suffit de tourner le miroir de 10 degrés pour les faire disparaître. La réflexion est donc régulière et l'angle d'incidence égale à l'angle de réflexion.

Pour vérifier que la propagation est bien rectiligne et que l'action se transmet en ligne droite de l'excitateur au miroir et de celui-ci au résonnateur, il suffit de vérifier que l'interposition d'un écran sur cette direction supprime les étincelles et qu'elle n'a aucun effet dans toute autre position.

Le résonnateur circulaire, qui permet de déterminer en chaque point la direction du plan de l'onde, montre que celui-ci est perpendiculaire au rayon après comme avant la réflexion et, par suite, que la réflexion lui fait subir une rotation de 90 degrés.

Jusqu'ici les lignes focales des deux miroirs étaient verticales et, par suite, le plan d'oscillation perpendiculaire au plan d'incidence. Pour rendre le plan d'oscillation parallèle au plan d'incidence et observer la réflexion dans ce cas, il suffit de faire tourner les deux miroirs de manière que les lignes focales soient horizontales. Rien ne paraît changé dans ce phénomène et je n'ai pu constater aucune différence dans l'intensité du rayon réfléchi dans les deux cas. Si on laisse l'une des lignes focales verticale, l'autre étant horizontale, on n'a aucnne étincelle. Ainsi, quand le plan de vibration est perpendiculaire ou parallèle au plan d'incidence, sa direction n'est pas modifiée par la réflexion. Il est probable qu'il n'en est pas de même pour les autres inclinaisons ; on peut même prévoir que

le rayon réfléchi n'est plus polarisé rectilignement. Les interférences auxquelles donnent lieu les deux systèmes d'ondes qui se croisent en avant du miroir et qui peuvent être mises en évidence par les phénomènes caractéristiques qu'elles produisent dans le résonnateur circulaire, fourniront peut-être un excellent moyen de résoudre quelques problèmes, intéressants pour l'optique, sur les changements apportés par la réflexion dans l'amplitude et dans la phase.

Nous mentionnerons encore quelques expériences relatives à la réflexion sur une surface anisotrope au point de vue électrique. Les deux miroirs sont placés côte à côte comme dans la première expérience de réflexion, mais on emploie comme plan réflecteur le réseau de fils parallèles dont il a été question plus haut. L'étincelle disparaît quand les fils sont perpendiculaires à la direction de l'oscillation; elle apparaît, au contraire, quand les fils sont parallèles aux oscillations : l'analogie entre notre surface transparente dans une seule direction et la tourmaline n'existe que pour la partie transmise du rayon. La tourmaline absorbe la partie qui ne passe pas, notre surface la réfléchit. Si l'on met en croix les lignes focales des deux miroirs, on n'obtient aucune étincelle par la réflexion du rayon sur une surface isotrope ; mais j'ai pu en obtenir avec la surface anisotrope en la tournant de manière que les fils fissent un angle de 45 degrés avec les lignes focales. Ce résultat s'explique facilement par ce qui précède.

Réfraction. — Pour voir si le rayon se réfracte en passant de l'air dans un milieu isolant, je me suis servi d'un grand prisme en asphalte. Le prisme avait une hauteur de $1^m,5$ et sa base, en forme de triangle iso-

scèle avait $1^{m},2$ de côté et un angle au sommet de 30 degrés. Comme il pesait environ 12 quintaux et que son maniement eût été trop difficile, on l'avait composé de trois parties superposées de $0^{m},50$ de hauteur.

La masse avait été coulée dans des caisses en bois et y avait été laissée, le bois n'ayant par lui-même aucune influence. Le prisme était placé verticalement et à une hauteur telle, que son milieu était dans un même plan horizontal avec les étincelles de deux appareils. Après avoir constaté que la réfraction avait effectivement lieu et pris une idée de sa grandeur, j'ai disposé l'expérience de la manière suivante : le premier miroir est placé à $2^{m},6$ de la première face du prisme, de telle manière que l'axe du faisceau aille passer par le centre de gravité, en faisant avec la face d'entrée un angle de 65 degrés. Deux écrans conducteurs, l'un du côté de l'arête, l'autre du côté de la base, enlèvent au rayon tout autre passage qu'à travers le prisme. Du côté du rayon émergent, on avait tracé sur le sol une circonférence de $2^{m},5$ de rayon ayant pour centre le centre de gravité de la base. Le second miroir peut être déplacé le long de cette circonférence, sans que l'axe cesse de passer par le centre.

Le miroir était d'abord placé dans le prolongement du rayon incident; on n'avait pas trace d'étincelle et le prisme formait un écran absolu. L'étincelle commençait à apparaître pour une déviation de 11 mètres, et elle allait en augmentant jusqu'à 22 degrés, pour décroître ensuite. Elle disparaissait complètement quand la déviation atteignait 34 degrés. Quand le miroir était dans la direction du maximum, on pouvait l'écarter dans la direction du rayon jusqu'à une distance de 5 mètres à 6 mètres sans voir disparaître l'é-

tincelle. Elle disparaissait infailliblement quand l'on se plaçait sur le trajet, soit en avant, soit en arrière du prisme, ce qui prouve bien que la transmission se fait par le prisme et non par une autre voie. On recommença l'expérience en laissant le prisme dans sa position première, mais en plaçant horizontalement les deux lignes focales. On ne put observer aucun changement. Un angle au sommet de 30 degrés et une déviation minimum égale à 22 degrés, donnent pour l'indice le nombre 1,69. L'indice optique pour les substances de cette nature est compris entre 1,5 et 1,6. L'expérience n'est pas assez précise, ni la matière du prisme assez pure, pour qu'il y ait lieu de tirer aucune déduction de la comparaison de ces nombres.

Dans les phénomènes que nous venons d'étudier, nous avons *vu* des rayons de force électrique; peut-être aurions-nous pu tout aussi bien y voir des rayons lumineux à grande longueur d'ondulation. Pour moi, les faits observés me paraissent mettre absolument hors de doute l'identité de la lumière, de la chaleur rayonnante et des mouvements électro-dynamiques. Je crois que l'idée de cette identité conduira à des conséquences aussi profitables pour la théorie de l'optique que pour celle de l'électricité.

HERTZ.

Les expériences du Dr Hertz viennent d'être répétées au Laboratoire central d'électricité par MM. Joubert et de Nerville. La grande salle du Laboratoire, qui mesure 15 mètres sur 13 et qui est complètement nue, se prête très bien à ces expériences.

Les appareils employés comme excitateurs ne diffèrent pas de ceux de M. Hertz; ils sont de diverses dimensions, les uns à sphères, les autres à plaques. On a également employé plusieurs bobines; chaque dimension d'appareil semble demander une bobine particulière. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un appareil à plaques de $0^{m},40$ de côté, ayant une longueur totale de $1^{m},20$ associé à une bobine de Ruhmkorff (modèle de Carpentier de 600 francs), fonctionnant avec un trembleur Deprez et un courant *continu* de 15 ampères environ.

On reconnaît que l'appareil fonctionne bien au bruit et à l'aspect de l'étincelle; l'étincelle est formée de traits rectilignes très minces et très brillants donnant lieu à des crépitements très secs. Les boules entre lesquelles éclate l'étincelle doivent être souvent polies; une lumière violette un peu vive tombant sur les boules modifie complètement l'étincelle et arrête les oscillations.

Quand les oscillations se produisent, il n'existe pas dans la salle, ni dans les salles voisines, de morceau de métal, grand ou petit, isolé ou en communication avec le sol, dont on ne puisse tirer des étincelles. On les voit jaillir entre les deux extrémités d'un fil qu'on recourbe en arc, de deux pièces de monnaie, ou deux clefs que l'on rapproche; on en tire des conduites du gaz, de l'eau, etc.

M. Hertz, comme on le voit ci-dessus, emploie comme résonnateur un fil contourné en cercles.

Une expérience curieuse et qui met bien en évidence le caractère particulier du phénomène est de prendre deux cercles, l'un à un seul tour et bien ajusté, l'autre de même diamètre, mais se composant de plusieurs

spires. Les étincelles obtenues avec le premier sont incomparablement plus grandes que celles qu'on obtient avec le second.

Au lieu du cercle de M. Hertz, MM. Joubert et de Nerville emploient un résonnateur formé de deux fils de cuivre placés bout à bout et dont les extrémités portent des capacités constituées par des feuilles d'étain de grandeur convenable.

L'étincelle part dans l'intervalle que laissent entre eux les deux fils. Quand l'excitateur fonctionne dans la grande salle du Laboratoire et que la longueur des fils et la grandeur des capacités sont bien réglées, on observe des étincelles très brillantes qui atteignent 7 à 8 millimètres dans le voisinage de l'excitateur, mais qui sont encore visibles dans toutes les autres salles, dans la cour, dans la rue, même à plus de 50 mètres de distance et à travers plusieurs murs.

Cet appareil donne lieu à une expérience très curieuse montrant bien l'influence de la lumière sur la production des oscillations. En approchant le résonnateur de l'excitateur, on voit le caractère de l'étincelle de l'excitateur changer et en même temps l'étincelle du résonnateur disparaître. En interposant un écran quelconque, le phénomène reparaît dans tout son éclat. Une lame de verre fait le même effet qu'un écran opaque ; au contraire, l'interposition d'une lame de quartz ne rétablit pas le phénomène.

L'étincelle du résonnateur rectiligne est maximum quand celui-ci est parallèle à l'excitateur. L'étincelle est nulle quand le résonnateur est dans le plan de symétrie de l'excitateur, mais il suffit de le tourner de quelques degrés pour le voir reparaître.

Un mur en pierre se comporte comme une lame

transparente pour les ondulations et on ne peut guère constater de différence entre les étincelles qu'on obtient d'un côté ou de l'autre. Une lame métallique mince se comporte comme une glace très legèrement argentée ; elle réfléchit une partie de l'onde, mais en laisse passer une partie très notable ; ainsi les étincelles sont encore très sensibles derrière une surface métallique formée d'une feuille d'étain ou de lames de zinc de $0^{mm},5$, ou d'une lame de tôle de 3 millimètres. Ces nombres sont simplement les épaisseurs des lames essayées et ils n'ont pas d'autres significations. Il est probable qu'on obtiendrait une réflexion plus complète avec des lames plus épaisses ou plus conductrices.

Le fond de la salle a été revêtu d'une surface de zinc formant une surface de 6 mètres sur 4. On a pu ainsi, à l'exemple de M. Hertz, constater l'interférence des ondes réfléchies avec les ondes directes. Avec l'appareil à plaques, on constatait un nœud très marqué à une distance de $3^{m},60$ environ du mur.

Grâce à l'obligeance de M. Lemonnier qui avait bien voulu construire pour le Laboratoire deux miroirs paraboliques identiques comme dimensions à ceux de M. Hertz, on a pu répéter les expériences de propagation et de réflexion du rayon électrique. Seule l'expérience de réfraction n'a pu être reproduite, faute d'un prisme de dimensions convenables.

J. Joubert.

LES TÉLAUTOGRAPHES

Dans le précédent numéro des *Annales télégraphiques*, où je résumais divers articles récents sur les télautographes, j'ai dit que le principe sur lequel sont fondés les télautographes avait été indiqué, en 1879, par M. Cowper.

Le directeur technique des télégraphes ottomans, M. Lacoine, m'adresse à ce sujet une lettre dans laquelle il réclame, à juste titre, la priorité de cette découverte.

« Ma première publication à ce sujet, dit-il, date du 1er juillet 1857. M. du Moncel, dans son journal *la Science*, de cette date, en fait mention en accusant réception d'une note que je lui ai envoyée concernant un télégraphe autographique fonctionnant *à la manière de la main.*

« Quelques mois plus tard je lui envoyais une description complète accompagnée de tous les dessins et détails d'exécution : il publia en entier cette description dans son Ve volume des *Exposés des applications de l'électricité* en 1859, et depuis elle a été reproduite par divers journaux français ou étrangers, entre autres dans le *Traité de télégraphie* de M. Blavier, dans celui de M. du Moncel, etc... »

Je suis heureux d'avoir ici l'occasion de reconnaître le droit incontestable d'un Français à la priorité de l'invention des télautographes et tout particulièrement ceux de M. Lacoine, qui dirige avec une si haute autorité le service technique de la Direction générale des télégraphes ottomans.

E. E.

CHRONIQUE.

Pose d'un câble entre la République argentine et l'Europe.

Les journaux de Buenos-Ayres discutent un projet relatif à l'établissement d'un câble télégraphique entre l'Europe et la République Argentine. Jusqu'ici les télégrammes qui en proviennent empruntent soit les câbles directs du Brésil, soit, par la voie Galveston, les lignes des États-Unis et subissent, par suite, un grand nombre de retransmissions avant d'arriver en Europe. Le nouveau projet ne comporte que deux stations intermédiaires, Saint-Vincent et Ténériffe. La distance de Buenos-Ayres à Saint-Vincent est de 3.820 milles, de 900 entre Saint-Vincent et Ténériffe : de cette dernière station à Lisbonne, point d'atterrissement, il y a 762 milles : on a donc en tout 5.482 milles.

Pour tenir compte des irrégularités du fond, il faut compter sur 6.300 milles de câble dont le coût total s'élèverait à 55.000.000 francs se décomposant comme suit :

6.300 milles de câble à 8.000 francs	50.400.000f
Pose du câble	800.000
Réserve	600.000
Lignes terrestres	400.000
Bureaux, appareils, etc.	600.000
Frais généraux, émissions d'actions, etc.	2.200.000
	55.000.000f

L'Administration des télégraphes de la République Argentine a calculé que le nombre de mots échangés, en 1888, avec l'Europe dépassait un million.

(*Der Electro-Techniker*, 15 mars 1889.)

Sur l'électrolyse.

Note de MM. Violle et Chassagny, présentée par M. Mascart.

La décomposition de l'eau au moyen d'un courant énergique est accompagnée de phénomènes lumineux et calorifiques, signalés, il y a plus de quarante ans, par MM. Fizeau et Foucault (*), et étudiés depuis par un grand nombre de physiciens. L'emploi d'une machine Gramme, pouvant débiter 40 ampères avec une force électromotrice de 110 volts, nous a permis d'obtenir facilement ces phénomènes, de les observer dans des conditions bien définies et d'en remarquer quelques circonstances nouvelles.

Dans de l'eau contenant 1 dixième d'acide sulfurique (**) plongeait profondément un fil de platine de $4^{mm},5$ de diamètre. L'électrode négative était constituée par un fil de platine de $1^{mm},6$ de diamètre, que l'on enfonçait très lentement dans le liquide froid.

Si la différence de potentiel aux bornes du voltamètre est supérieure à 32 volts, on observe autour du fil négatif une gaine lumineuse, qui le sépare du liquide, et dans laquelle s'effectue exclusivement le dégagement d'hydrogène. Elle offre au passage du courant une résistance très forte, qui diminue lentement à mesure que la gaine s'étale en pénétrant dans le liquide avec le fil, et qui tombe brusquement au moment où la gaine disparaît pour faire place au dégagement ordinaire par bulles. Le tableau suivant indique la longueur maximum l que peut atteindre la gaine pour une force électromotrice donnée E dans un liquide froid; I est l'indication d'un ampèremètre Deprez-Carpentier, intercalé dans le circuit :

(*) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XI, p. 383, 1844.

(**) Avec une moindre proportion d'acide, les phénomènes sont moins nets.

l.	E.	I.	EI obs.	EI calc.
cm.	volts.	ampères.	watts.	watts.
1	35	0,9	32	32
2	39,3	1,6	63	64
3	41,5	2,4	99	96
4	42,8	3,1	132	128
5	44	3,7	163	160
6	44,8	4,3	192	192
7	45,5	4,8	218	224
8	46			

Les quantités d'énergie électrique dépensées dans le voltamètre sont sensiblement proportionnelles aux longueurs maxima de gaine qu'elles peuvent produire.

La lumière qui se manifeste sur l'électrode est discontinue : ce sont d'abord seulement quelques points brillants, orangés, à l'extrémité du fil; puis un semis de couleur violette s'étend sur toute la partie immergée.

Cette partie s'échauffe beaucoup, et la caléfaction contribue puissamment à l'entretien de la gaine. Si, en effet, on supprime le courant, la gaine ne disparaît pas immédiatement, et un bruissement se produit quand le liquide arrive au contact du métal. De même, le passage de la gaine aux bulles, lorsque l'électrode graduellement immergée atteint une certaine profondeur, est accompagné d'une sorte d'explosion. D'autre part, avec un potentiel inférieur à 32 volts, on peut produire la gaine sur le fil négatif préalablement chauffé; mais alors le phénomène est passager, et bientôt le dégagement par bulles se fait au travers du liquide arrivé en contact avec le fil refroidi.

La gaine étant établie sur une certaine longueur, si l'on fait croître progressivement la différence de potentiel entre les deux électrodes, les manifestations calorifiques et lumineuses augmentent d'intensité. Les décharges qui illuminent la gaine deviennent plus nombreuses et plus vives. Le dégagement de gaz s'accélère; le liquide s'élève autour de l'électrode; la gaine s'élargit et se déchire avec lumière et avec bruit en grosses bulles pressées. La partie immergée de l'électrode rougit et peut même fondre : avec une force électromotrice de 80 à 100 volts, on fond facilement le fil de platine de $1^{mm},6$ de dia-

mètre, plongeant de 2 à 4 centimètres, tandis que la partie extérieure du même fil est à peine chaude.

Avec une grande différence de potentiel, il est difficile d'établir et plus difficile encore de maintenir la gaine qui, à la moindre agitation, se transforme en bulles crépitantes.

Cette forme bruyante de l'électrolyse s'accompagne d'une désagrégation superficielle de l'électrode négative : bientôt le liquide se charge d'une poudre noire très lourde, constituée essentiellement par un hydrure de platine, décomposable dans le vide au-dessus de 400° (*), et correspondant à la formule Pt^2H.

Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que des phénomènes qui se manifestent au pôle négatif. On peut aussi observer une gaine sur l'électrode positive. Il suffit, pour cela, d'intervertir les conditions de l'expérience, d'attacher au pôle négatif le fil de $4^{mm},5$ toujours profondément plongé dans la même eau acidulée au dixième, et d'enfoncer graduellement l'électrode positive constituée par le fil de $1^{mm},6$. On constate tout de suite une plus grande difficulté à obtenir la gaine, qui ne se forme pas nettement à moins de 50 volts, mais qui, en revanche, montre une persistance remarquable; elle est, d'ailleurs, beaucoup moins lumineuse.

Si l'on produit d'abord la gaine sur le gros fil, le fil fin étant plongé de 2 à 3 centimètres, à mesure que l'on enfonce le gros fil, la gaine s'allonge jusqu'au point où elle disparaît brusquement; mais aussitôt l'intensité du courant augmente, et l'autre électrode peut s'échauffer assez pour se couvrir, à son tour, d'une gaine lumineuse ou de bulles crépitantes.

Des phénomènes semblables, mais beaucoup moins intenses, se manifestent dans l'eau acidulée avec de l'acide phosphorique. La décomposition normale est plus difficilement troublée, comme l'a déjà indiqué M. Mascart (**).

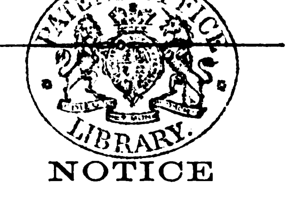
(*) Berthelot, *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. XXX, p. 530, 1883.

(**) Mascart, *Journal de physique*, 2e série, t. I, p. 111, 1882.

2499

Gérant : Vve DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES



Année 1889 Mai-Juin

NOTICE

SUR

LA CARRIÈRE ADMINISTRATIVE

ET

LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

E.-E. BLAVIER

(Fin.)

Dès l'origine, alors qu'on ne prévoyait guère le développement auquel nous assistons, l'Administration des Télégraphes avait su reconnaître cet intérêt, ou pour mieux dire, cette nécessité de faciliter à son personnel les moyens de s'instruire; et elle avait pris diverses mesures dans ce but. Des cours avaient été créés, des livres répandus; en même temps, une revue périodique recevait les travaux de Gounelle, de Grosjean, de Rouvier, de Saigey, d'Ailhaud, de Bergon, de Ducôté, de Carette, de Brisson, de bien d'autres encore que nous voyons aujourd'hui à la tête de nos services.

Les publications qui datent de 1855 à 1865, représentent, avec une courte tentative d'enseignement, la part de M. Blavier dans ces premiers efforts. Malheureusement, on ne persévéra point dans une voie qui promettait d'être féconde : on pensa pouvoir s'en tenir à ce qui était d'utilité immédiate, on crut avoir assez fait pour l'avenir en donnant à quelques surnuméraires ce qu'il leur fallait de notions élémentaires pour comprendre à peu près le fonctionnement d'un Morse; et sous une autorité peu tolérante, pour qui ne pas encourager les préoccupations scientifiques ne différait guère de les interdire, toutes les études d'ordre supérieur furent suspendues. Mais, comme partis pris ni systèmes ne sauraient prévaloir contre les nécessités qui dérivent de la nature des choses, par une frappante contradiction, tandis que l'on cantonnait les fonctionnaires les plus éminents dans des occupations administratives, il fallait aller au dehors demander à de moins autorisés ces conseils scientifiques dont aucun service télégraphique ne saurait se passer.

C'est seulement après 1870 qu'on revint à une plus saine appréciation. A tort ou à raison, l'opinion s'était accréditée dans le public que nos désastres avaient été dus, pour une bonne part, à l'ignorance où l'on serait resté des progrès réalisés à l'étranger : aussi, dans la ferveur patriotique qui poussait alors chacun à travailler de son mieux, dans sa sphère, au relèvement du pays, les premiers efforts furent-ils pour étudier les nations voisines. Plus qu'aucun autre service, la Télégraphie devait profondément ressentir cette influence extérieure. L'industrie de la télégraphie sous-marine n'existait qu'en Angleterre : à la faveur des immenses opérations qui avaient constitué le réseau sous-marin

du monde entier, sous l'impulsion et avec le concours direct des maîtres les plus illustres, il s'était créé en Angleterre une science électrique à l'usage des télégraphistes, bien différente de celle qu'enseignaient les établissements d'instruction, et, suivant le mot de Jenkin, bien plus scientifique que celle des savants. Sans doute, les recherches des Thomson, des Varley, des Stokes, des Maxwell, n'étaient pas absolument ignorées en France; bien loin de là, et c'était dans le service même des Télégraphes que se rencontraient les principaux adeptes de ces doctrines nouvelles : parmi eux, au premier rang M. Blavier. Mais la connaissance en était limitée à un petit nombre d'hommes d'élite. L'usage de la mesure électrique était plus rare encore ; quantité de questions qui se rapportent aux transmissions rapides, et qui maintenant sont familières grâce aux travaux de nos devanciers, étaient à peine indiquées. La tâche qu'avait à remplir l'Administration des Télégraphes au lendemain de la guerre, était pour effrayer les plus hardis : un réseau demi-détruit à reconstruire, une organisation à refaire, et par surcroît une poussée inattendue de besoins impatients à contenter. Ce sera l'honneur de ceux qui dirigeaient alors notre service d'avoir envisagé ces difficultés d'un œil calme, de les avoir jugées avec largeur, d'avoir compris que le plus sûr moyen d'en sortir était de s'assurer tout d'abord un personnel capable, en répandant les connaissances supérieures. Encore ne rendrait-on point à leur initiative toute la justice qui lui est due, si on en limitait les effets au cercle étroit des agents du service : elle eut des résultats bien autrement étendus. Car, quelque influence qu'ait pu exercer, quelques années plus tard, l'enseignement allemand recueilli et

transporté chez nous par des savants distingués, élèves des Kirchhoff et des Helmholtz, on ne saurait douter que le renouveau des études électriques en France ne date de l'impulsion donnée par l'Administration des Télégraphes.

Il n'y eut pas un instant perdu pour cette œuvre de relèvement. Le 27 octobre 1871, une décision ministérielle pourvoyait aux besoins les plus urgents du service des transmissions, en rétablissant « *dans les principaux bureaux un cours pratique, obligatoire pour les agents de la région qui ne possèdent qu'une connaissance insuffisante des appareils* »; et aussitôt elle commençait d'organiser un enseignement plus élevé : elle ouvrait à Paris un cours supérieur « *destiné à compléter les notions acquises dans les départements, tant au point de vue pratique qu'au point de vue théorique* ».

Comme il convient pour un essai, les débuts furent modestes; on se contentait d'appeler à ce cours une douzaine seulement d'agents pendant trois mois chaque année; mais bientôt encouragés par les résultats obtenus, les inspirateurs de la mesure développaient leur création, et, dans les considérants qui précèdent la décision ministérielle du 11 septembre 1877, ils montraient leur pensée tout entière. Il s'agissait « *de coordonner les mesures prises pour former au point de vue technique les jeunes gens qui entrent dans le service télégraphique, leur fournir les moyens de suivre les progrès de la télégraphie, et encourager à l'étude ceux qui se distinguent par leur aptitude* ». Le nombre des agents admis au cours supérieur était porté à vingt-cinq; et le programme officiellement arrêté, accentuait nettement le caractère d'enseignement su-

périeur que l'on avait voulu donner à ces leçons. Destinées à des auditeurs déjà anciens dans le métier et rompus à la pratique, elles roulaient presque uniquement sur la théorie, et se partageaient en deux séries montrant les deux aspects que peut revêtir la recherche physique. Les unes, portant sur les principes fondamentaux de la mécanique, de la physique, de la chimie, faisaient surtout appel à la preuve expérimentale ; et les questions d'électricité, quoique traitées avec quelque détail, ne s'y présentaient guère que comme un exemple, développé sous ses diverses formes, à l'appui de la doctrine générale. L'autre cours visait à plus de précision : il se proposait de donner, par une méthode de déduction rationnelle, un exposé systématique de la théorie de l'électricité, et d'en formuler les résultats autant que possible en nombres ; les procédés principaux de la mesure électrique en formaient la conclusion naturelle.

M. Blavier avait toujours tenu de sérieuses connaissances scientifiques pour indispensables au progrès, et même à la pratique ordinaire, de la télégraphie ; en maintes occasions, il avait réclamé la création d'un enseignement professionnel supérieur ; par ses travaux, devenus classiques pour les télégraphistes de tous pays, il avait prêché d'exemple et montré l'utilité immédiate, palpable, des recherches théoriques. Cependant il ne prit point à l'enseignement une part personnelle : les absences fréquentes, que lui imposaient ses fonctions de directeur de la région de l'Est, ne lui en auraient point laissé la possibilité. Mais s'il ne fit point matériellement, et par lui-même, acte de professeur, son influence n'en fut pas moins directe et sensible : dans le cours de mesure électrique, on ne trou-

verait guère de leçon, dont non seulement le sujet et l'ordonnance, mais encore le mode d'exposition n'eussent été longuement discutés entre lui et M. Raynaud. C'est à cette époque, et, selon toute vraisemblance, à ces préoccupations d'esprit que remonte l'origine de ce livre, si lucide dans sa simplicité : *Les Grandeurs électriques.*

Pendant six ans, le cours supérieur fonctionna de façon satisfaisante dans les conditions que nous venons de dire : peu chargés de leçons, tenus sur un sujet à dessein limité, les élèves avaient le loisir de réfléchir, de se bien assimiler les questions traitées ; et leurs examens témoignaient qu'ils avaient suivi le cours avec profit. Mais, quelle que fût l'habileté des maîtres, un pareil enseignement devait forcément demeurer incomplet. L'auditoire était formé d'hommes que leurs occupations professionnelles avaient longtemps tenus éloignés des études abstraites ; les délais accordés pour leur donner ce supplément d'instruction, étaient strictement mesurés par les exigences du service. Il fallait donc, à tout prix, élaguer ce qui eût pu devenir une source de complications ; il fallait, en particulier, renoncer à se servir du calcul, instrument qui n'est commode que s'il est familier ; ou du moins il fallait ne l'employer que sous ses formes les plus élémentaires. De là, de graves difficultés d'exposition : tantôt on n'atteignait qu'à grand'peine, au prix de détours pénibles ou de raisonnements incomplets une démonstration qui, sans ces restrictions, eût été immédiate et rigoureuse ; d'autres fois, la preuve n'était pas accessible, même par à peu près, et on devait s'en tenir à l'affirmation des résultats. Certains sujets de première importance ne pouvaient être qu'effleurés, d'autres

n'étaient pas du tout abordables. Enfin, le temps manquait pour jeter, fût-ce un simple coup d'œil, sur ces nombreuses applications de l'électricité, qui commençaient à se faire jour vers 1877. Si donc l'utilité et les bons effets du cours supérieur étaient incontestables, il n'était pas moins évident, pour tout esprit impartial, que des bases bien différentes devraient être données à cet enseignement de l'électricité pratique, dont chacun reconnaissait la nécessité.

Mais alors, les obstacles, pour être d'autre nature, n'étaient pas moins sérieux. Si l'on demandait aux écoles des élèves jeunes, pourvus d'une solide instruction générale, en mesure de suivre telle nature de développements théoriques que le comporteraient les questions, c'étaient les connaissances d'application qui feraient défaut, et dont il faudrait prévoir l'enseignement. En outre, pouvait-on introduire dans un service un élément si distinct du reste du personnel, et lui réserver par avance, à raison de l'instruction qu'on lui aurait donnée, toute une catégorie d'emplois dont les autres agents auraient été exclus ? On eût hésité avec raison devant une semblable mesure.

La solution de cette double difficulté fut donnée, de la façon à la fois la plus satisfaisante et la plus libérale, par l'organisation créée le 25 juin 1878, par arrêté de M. Cochery, Sous-Secrétaire d'État aux Finances. Le cours supérieur, avec un cadre d'études élargi, devenait l'École des Télégraphes, où l'on devait traiter et les matières de science pure, et les questions de pratique professionnelle, et les sujets d'organisation et de règle administratives. Pour répondre à l'ampleur de ce programme, la période scolaire était portée à deux ans ; pour affranchir l'enseignement des entraves qu'il

avait rencontrées jusqu'alors, une forte préparation était exigée, avec la sanction de sérieuses épreuves d'admission. Mais les exigences se bornaient au seul fonds d'instruction acquise : quiconque pouvait, dans le concours, justifier des connaissances voulues, trouvait libre accès, sans distinction d'origine. Et, afin que cette condition d'études préliminaires, bien loin d'écarter les agents de l'administration, tournât au contraire à l'avantage de ceux qui se sentiraient le courage de se remettre au travail, tout un système de facilités était combiné, grâce auquel, sans renoncer à leur situation, sans interrompre leurs services, ils pouvaient suivre d'abord les leçons des lycées, puis à Paris un cours préparatoire spécialement institué à leur intention.

Le plan d'études comprenait, pour l'École des Télégraphes, deux cours théoriques, l'un expérimental et l'autre mathématique, traitant aussi complètement que possible de l'électricité ; la théorie et la pratique de la mesure électrique, la description et le maniement des appareils de la télégraphie électrique, la construction des lignes terrestres aériennes, celle des lignes souterraines ou sous-marines, la connaissance de leurs matériaux, les procédés généraux de la construction civile, les machines à vapeur et les chemins de fer ; puis, dans un autre ordre d'idées, le droit administratif, en ce qui concerne l'organisation générale des pouvoirs publics et les questions qui se rencontrent dans la pratique courante de notre métier, l'organisation et le fonctionnement des services télégraphiques et postaux. A côté de ces cours principaux figuraient, comme matières de moindre importance ne donnant lieu qu'à quelques conférences, le matériel de la télégraphie militaire, celui des tubes pneumatiques,

les systèmes de signaux employés sur les chemins de fer, et deux sujets qui devaient, par la suite, devenir de premier intérêt, la téléphonie et l'emploi à leurs divers usages des machines dynamo-électriques. De plus, tous les ans, des leçons supplémentaires devaient être demandées sur des questions d'actualité à des personnes étrangères à l'Administration. Enfin, une large place était réservée aux langues vivantes ; et, chaque été, des tournées d'instruction, où les élèves assistaient aux travaux en cours et visitaient les installations existantes, complétaient par le travail personnel l'enseignement des cours. A la classe préparatoire, le calcul différentiel et le calcul intégral, la mécanique rationnelle, la physique, la chimie et le dessin industriel constituaient un solide fondement d'instruction générale.

Depuis 1878, le mouvement d'esprits qui porte l'industrie vers l'électricité, s'est rapidement accentué ; et avec lui est né le besoin d'apprendre cette science sous son aspect pratique. Dans la plupart des pays, nous avons vu se créer des instituts électro-techniques : la Suisse, la Belgique, l'Allemagne, l'Angleterre, l'Italie, la Russie, l'Autriche, les États-Unis d'Amérique ont rivalisé d'efforts et de munificence pour doter dignement les établissements nouveaux, et leur assurer d'emblée des moyens matériels égaux ou supérieurs à ceux dont s'étaient enrichies peu à peu les branches plus anciennes de l'enseignement industriel. En France même, nous avons vu s'ouvrir de nouvelles chaires. Rien de pareil n'existait nulle part en 1878 ; et cependant, aujourd'hui encore, on peut se demander si, malgré une expérience de dix ans, malgré une profusion de ressources que ne connaissent guère les établisse-

ments d'instruction professionnelle de l'État français, aucun de ces instituts offre un corps d'enseignement aussi judicieux, aussi complet, aussi bien combiné pour répondre à tous les besoins de l'Ingénieur électricien, que le faisait, dès son origine, l'École des Télégraphes.

Le cours supérieur, nous l'avons dit, avait donné de bons résultats; et si, comme échelon le plus élevé de l'enseignement, il avait paru insuffisant, il n'en avait pas moins rendu de réels services; il formait d'ailleurs entre les cours régionaux d'instruction et l'École des Télégraphes une transition nécessaire. Le supprimer eût été une faute, dont on sut se garder : dès 1881, sous le nom de cours des Contrôleurs, nous le retrouvons complété sur certains points, rendu plus pratique sur d'autres, comprenant enfin sur la construction des lignes et sur l'organisation postale des notions devenues indispensables depuis la fusion.

C'est cet ensemble, connu depuis sous le titre d'École supérieure de Télégraphie, et complété par les services du Laboratoire d'études et du Musée de l'Administration, que M. Blavier fut appelé à diriger dès sa création. En remettant cette mission à M. Blavier, assurément le Ministre avait voulu lui donner une marque particulière de confiance, lui confier un poste d'honneur; en même temps, il avait entendu témoigner, par le choix du chef, du prix qu'il attachait à l'institution. Mais, comme le rappelait avec tant de justesse M. Mascart, dans les paroles d'adieu prononcées le 17 janvier 1887 à la gare de l'Est : « *Les fonctions administratives, si laborieuses et souvent si fécondes, exigent quelque abnégation, parce que les bienfaits qu'elles produisent restent souvent anonymes ou ne remontent*

pas à leurs véritables auteurs. » C'est ainsi que durant les huit années que M. Blavier conserva ces fonctions, le biographe ne saurait relever aucun trait saillant de sa carrière administrative proprement dite ; et pourtant que d'efforts, que de travail dépensé ! Cette influence, toute de douceur, de persuasion, de raison qui était propre à M. Blavier, devait s'employer obscurément, non point tant à conduire sa jeune école, qu'à la défendre à peine née contre des attaques aussi aveugles que passionnées ; et ceux-là seuls qui l'approchaient du plus près, savent les perplexités, les soucis que causait à cet homme, bon entre tous et ennemi des querelles, cette lutte renouvelée sans cesse.

Heureusement, d'autres soins venaient faire diversion à ces préoccupations stériles : jamais l'activité scientifique de M. Blavier n'avait été plus grande, jamais elle ne s'était attaquée à de plus importants sujets. C'est ici que, pour suivre l'ordre chronologique, devrait venir se placer cette série d'articles, publiés d'abord aux *Annales*, puis réunis en volume : *Les Grandeurs électriques et leur mesure en unités absolues.* Mais nous ne reviendrons point sur cet important ouvrage ; M. Raynaud, qui le rattachait aux travaux de la première période, en avait rendu compte, en même temps que des études plus anciennes de M. Blavier dans le domaine de la physique mathématique.

Nous voulons toutefois, ne fût-ce que pour acquitter une dette personnelle de reconnaissance, signaler ce qui fait à la fois le caractère original et l'utilité de ce beau livre. Dès cette époque, en effet, il ne manquait pas, dans la littérature scientifique, d'ouvrages où la théorie mathématique des phénomènes électriques fut

développée d'ensemble, en vue d'arriver à la mesure de ces phénomènes; où fût ensuite discuté le choix des unités les plus convenables pour ce genre de mesure; où enfin fussent décrits les moyens d'arriver à la reproduction matérielle des unités choisies rationnellement, et de comparer les étalons ainsi créés aux grandeurs de même espèce qui se rencontrent dans la pratique. Les maîtres les plus illustres s'étaient particulièrement attachés à ces études qu'ils regardaient à bon droit comme fondamentales, et il semblait que, dans cette voie, on ne pût guère qu'exposer ou commenter leurs travaux. Mais d'habitude, ils avaient employé un appareil de langage mathématique, plus concis peut-être, plus élégant ou plus commode pour eux-mêmes, mais qui pouvait être une difficulté majeure pour le plus grand nombre des lecteurs. M. Blavier se fit une règle de ne point se servir de ce langage; et, lorsque la nécessité d'énoncer un résultat numérique entraînait l'obligation d'écrire quelque formule, c'étaient toujours les procédés les plus élémentaires, les plus directs, dépassant à peine les ressources de l'arithmétique ordinaire qui devaient lui suffire à atteindre le résultat cherché. A ce titre, ce livre peut être présenté comme un modèle de l'ouvrage de vulgarisation. Point de fausses apparences, de sacrifices faits à une trompeuse couleur de simplicité, point d'explications imparfaites, de preuves insuffisantes, de difficultés esquivées ou passées sous silence; tout est rigoureux et complet, et l'extrême lumière ne naît que de l'art extrême par lequel les démonstrations se trouvent réduites à une forme accessible et presque immédiate. Aussi l'ouvrage de M. Blavier ne contribua-t-il pas pour peu de chose au chemin que firent si vite,

chez les praticiens de l'électricité, des idées demeurées longtemps dans le domaine exclusif de la science pure.

Le moment était d'ailleurs singulièrement opportun ; l'industrie électrique, demeurée quelque temps stationnaire après le grand effort de la télégraphie transatlantique, venait de reprendre sa marche progressive. En même temps que le téléphone et le microphone nous permettaient d'utiliser des courants d'une extrême faiblesse, les tentatives de Gramme, de Siemens, de Jablochkoff, de Brush, de E. Thomson, nous habituaient à considérer des intensités ou des tensions de courant inusitées jusqu'alors ; en 1879, Swan et Édison, chacun de leur côté, créaient la lampe à incandescence. Et, pour résumer d'un mot l'étendue du progrès accompli en si peu de temps, il nous suffira de rappeler qu'à l'Exposition universelle de 1878, on considérait comme une curiosité des projecteurs de lumière électrique réservés à quelques usages militaires exceptionnels ; et que trois ans plus tard s'ouvrait une autre Exposition où, non seulement ne se comptaient plus les types de lampes électriques ou de machines susceptibles de les alimenter, mais où paraissaient pourvus de leur outillage complet, étudiées jusqu'en leurs moindres détails, de puissantes installations capables de distribuer sur de larges surfaces la lumière et la puissance motrice. Dès lors, ce n'était plus le savant seulement au cours de ses recherches spéculatives, ou le télégraphiste renfermé dans l'étroite spécialité de son métier, qui avaient à se préoccuper de reconnaître et de mesurer les courants ; le public même, qui, peu soucieux des abstractions ne s'attache guère qu'à ce qu'il utilise et qu'il paie, prenait à la question l'intérêt le plus direct. Aussi ja-

mais peut-être réunion, appelée à discuter des problèmes de haute science, n'éveilla-t-elle une attention plus générale, que ne le fit le Congrès international des électriciens de 1881.

Ce ne serait point ici le lieu de retracer, même sommairement, l'ensemble des débats de cette assemblée ; nous devons nous en tenir à ceux auxquels M. Blavier prit une part personnelle. Dès la séance d'ouverture, le Congrès, conformément à la proposition qui lui en était faite, s'était subdivisé en trois sections, se réservant chacune un ordre spécial d'études : c'est à la première et à la seconde que s'était fait inscrire M. Blavier, pour suivre d'une part les travaux relatifs à la fixation des unités électriques, de l'autre ceux qui se rapportaient à la télégraphie et à la téléphonie. Des deux côtés, les problèmes à aborder étaient pleins de difficultés.

D'accord sur les principes, admettant tous un même système de mesures théoriques, reconnaissant bien haut l'avantage d'employer universellement dans la pratique les mêmes unités matérielles, les électriciens étaient partagés sur le choix de ces unités. Dans les recherches entreprises pour en fixer les étalons, on avait généralement pris comme point de départ l'unité pratique de résistance, aussi bien parce que sa détermination pouvait paraître plus aisée, que parce que sa connaissance semblait répondre à un besoin plus immédiat de l'industrie. Il résultait de là que toute divergence sur la définition de cette unité spéciale devait entraîner d'autres divergences sur la définition de toutes les autres ; et c'est ce qui se présentait en 1881, les uns faisant usage de l'*Ohm*, c'est-à-dire de l'étalon établi à la suite des mémorables travaux de l'Association britannique ; les autres préférant l'*unité*

Siemens, qui, moins rationnelle peut-être dans sa conception, offrait le grand avantage d'être déjà d'un usage très répandu, et de présenter une sécurité plus grande pour la reproduction et la permanence des copies de l'étalon. Les partisans de l'unité mercurielle (Siemens) ne manquaient pas non plus de faire observer que, pour rationnelle et scientifique que pût être dans sa conception l'unité B. A., sa réalisation matérielle n'en était pas moins sujette à erreur; que pour elle, comme pour tout autre, il fallait plutôt viser à la certitude de l'étalon qu'à la concordance absolue d'une définition théorique et d'une représentation concrète, laquelle, irréalisable en fait, entraînerait de perpétuelles corrections, et, par là même, la variabilité incessante de ce qu'il s'agit de rendre permanent et définitif. Et, d'autre part, la nécessité d'une entente était d'autant plus frappante, en cette Exposition où se trouvaient rassemblés des instruments sortant de tous les ateliers d'Europe et d'Amérique, que les deux unités en compétition étaient assez peu différentes l'une de l'autre pour rendre aisés et fréquents les malentendus et les confusions.

La décision du Congrès fut telle qu'on pouvait l'attendre d'un tribunal ainsi composé. L'unité définitive devait être choisie de façon à se rapporter autant que possible à une définition scientifique; elle devait donc être établie d'après les considérations qui avaient guidé les travaux de l'Association britannique. Mais puisque ces travaux semblaient, de l'aveu même de ceux qui y avaient pris part, comporter quelques erreurs, que les procédés d'expérimentation électrique s'étaient perfectionnés, et que l'on avait d'ailleurs de sérieuses raisons de croire que les bobines-étalons en fil métal-

lique construites en 1865, ne présentaient pas, au point de vue de leur permanence, toute la sécurité désirable, il y avait lieu de procéder à une détermination nouvelle. On conviait les savants de tous pays à faire connaître et discuter leurs méthodes et leurs résultats. Et c'est sous la forme, reconnue préférable, d'une colonne de mercure pur, de dimensions géométriques déterminées, que serait réalisée matériellement la nouvelle unité. Ces conclusions, adoptées par le Congrès en séance plénière, transmises aux Gouvernements représentés et accueillies par eux, constituaient un programme de recherches ultérieures. Ce fut l'œuvre des Congrès tenus en 1882 et 1883 de créer, en conformité de ces indications, l'unité pratique de résistance, — l'*ohm légal*, — et d'en déterminer la valeur absolue. Le reste du système des mesures électriques pratiques se trouvait fixé par là même.

La deuxième section du Congrès avait, nous l'avons dit, pour domaine l'examen des questions de télégraphie et de téléphonie. Dès la première séance, M. Blavier avait été appelé au bureau en qualité de vice-président; il prit aussi la parole à diverses reprises, notamment sur l'importante question des parafoudres. Déjà les débats de la première section, les discussions qui s'y étaient élevées et les divergences d'opinions qui s'y étaient fait jour entre les savants les plus éminents, sur le sujet des paratonnerres d'édifices, avaient fait ressortir combien difficiles et encore obscures sont toutes les questions qui se rattachent à l'électricité atmosphérique, combien elles s'éloignent de la simplicité qu'on leur avait attribuée dans le principe, en faisant sur la nature de la décharge une hypothèse que l'on s'était ensuite habitué à tenir pour vérité établie.

S'il s'agit des appareils qui doivent, dans les postes télégraphiques, garantir les opérateurs et l'outillage des chocs foudroyants, le problème devient plus délicat encore ; car ce sont des effets fréquents, journaliers presque en certaines contrées et dans certaines saisons, dont il faut se protéger par des moyens à la fois simples et efficaces, où l'on ne saurait admettre ni ce qui offrirait une sécurité douteuse, ni ce qui serait d'une surveillance et d'un entretien malaisés. Et, en même temps, ces éléments qui ôtent au phénomène cette simplicité qu'on lui croyait d'abord, la résistance proprement dite, et ce que sir William Thomson appelait au Congrès même de ce nom si expressif : la *quasi-inertie du conducteur*, apparaissent dans le cas des lignes télégraphiques avec une tout autre importance que dans les câbles métalliques des paratonnerres d'édifices. M. Blavier avait de longue date porté ses réflexions sur ce point, il avait rassemblé de nombreuses observations, et maintes fois, dans les commissions administratives, il avait développé ses vues. Il n'hésita pas à condamner d'une manière formelle deux des types les plus communément adoptés : les paratonnerres à fil ténu et les divers dispositifs à pointes ; il recommandait, au contraire, comme la protection la plus assurée, les paratonnerres à lame diélectrique mince, où deux larges surfaces métalliques, respectivement reliées à la ligne et au sol, ne sont séparées que par une couche très peu épaisse d'air, de papier ou de gutta-percha. On peut, dès maintenant, constater dans les divers pays une tendance visible à se ranger à cet avis, si contraire alors aux idées courantes.

L'Exposition, ouverte au Palais de l'Industrie pour

les diverses applications de l'électricité, formait comme le laboratoire ou le champ d'observations du Congrès. Après avoir présidé aux débats où s'étaient développées les vues des personnalités les plus marquantes en matière de télégraphie, M. Blavier était naturellement désigné pour faire le rapport d'ensemble sur les objets exposés, pour dresser en quelque sorte la constatation officielle de l'état de la télégraphie en 1881. La tâche ne laissait pas que d'être difficile, tant est grand le nombre des inventions de toutes sortes dans cet art d'origine si récente. Mais pour mener son œuvre à bien, M. Blavier n'avait qu'à se souvenir, à suivre pas à pas la lumineuse classification des appareils télégraphiques, qu'il avait donnée dès la première édition de son *Traité de télégraphie*, alors qu'il prévoyait et distribuait d'après leur principe des instruments qui ne devaient être réalisés matériellement que bien des années plus tard. Le rapport de M. Blavier est, comme il convient à un document de ce genre, sobre de détails; ce n'est point un exposé descriptif destiné à l'instruction du public, c'est le résumé d'une étude conduite par des gens compétents, où, en chaque cas, la partie essentielle est le jugement porté. A ce titre, ce travail présente un intérêt particulier; car, sous les réserves de langage imposées par la nature spéciale de ce rapport, on y peut découvrir quelles étaient, sur la fin de sa carrière, les idées de M. Blavier sur les diverses voies de progrès ouvertes à la télégraphie, et on y trouve aussi comme le complément, et quelquefois la contre-partie, des vues développées dans les premiers articles des *Annales*.

Ces travaux, si importants qu'ils fussent, étaient en quelque sorte des œuvres de circonstance; M. Blavier

avait été conduit à les entreprendre par le hasard des événements; mais il ne les aurait point projetés à l'avance, il ne les reliait pas à un plan d'ensemble, en sorte que leur publication ne marque point une étape dans le développement de ses préoccupations scientifiques. Il en est tout autrement du grand ouvrage dont il nous reste maintenant à parler. Depuis longtemps, M. Blavier, comme tous les télégraphistes expérimentés, avait été frappé de la gravité et de l'étendue des perturbations que créent sur les fils télégraphiques ces courants que l'on a appelés telluriques, qui apparaissent brusquement, sans cause visible, et rendent quelquefois toute transmission impossible sur de vastes espaces; il savait que dans les intervalles des perturbations violentes, les lignes ne sont jamais au repos, mais que constamment, dans une direction ou une autre, avec une plus ou moins grande intensité, elles sont le siège des flux électriques, qui troublent et contrarient le jeu des appareils et rendent des précautions nécessaires.

Déjà nombre de savants avaient étudié ces phénomènes et avaient tenté de les rattacher aux causes les plus diverses, météorologiques, astronomiques ou autres; mais aucun de ces essais n'avait semblé satisfaisant, aucune des explications proposées n'avait paru complète. Les observations mêmes, desquelles on avait prétendu étayer ces systèmes, pouvaient à peine, pour le plus grand nombre d'entre elles, être retenues à titre de documents, soit que recueillies à des intervalles éloignés et arbitraires, elles fussent trop espacées pour donner une idée même lointaine de manifestations continues et continuellemeut changeantes; soit que par l'imperfection des méthodes, ou par l'insuffisance

des moyens matériels mis en œuvre, elles aient manqué à saisir plus que les courants d'intensité exceptionnelle; soit enfin que l'esprit prévenu des observateurs ait noté seulement les coïncidences qui venaient à l'appui de la thèse choisie, pour rares, fortuites et discordantes qu'elles pussent être. M. Blavier avait soumis à un examen approfondi chacun des procédés d'observations qui avaient été essayés avant lui, et, quoique dans le premier paragraphe de son mémoire, il se borne à en indiquer brièvement les résultats sans formuler de critiques, il avait de longue date analysé pour chaque cas les causes d'insuccès : connaissant les conditions à remplir, il n'attendait pour mieux faire qu'une occasion propice.

On s'était ému, non sans raison, du trouble que pouvaient apporter à tout notre système de communications télégraphiques un ouragan qui renverserait les poteaux ou mêlerait les conducteurs, des neiges et des verglas qui feraient rompre les fils sous le poids d'une surcharge anormale; la peine que l'on avait eue pour parer à des accidents de ce genre, quoique locaux et de médiocre étendue, avait permis de mesurer les conséquences d'une destruction plus générale ou portant sur des lignes plus importantes. M. Cochery, Ministre des Postes et des Télégraphes, avait donc décidé de doubler en quelque sorte chacune des principales lignes, ou plutôt de lui adjoindre, comme renfort ou comme réserve, une ligne souterraine. Ces travaux venaient d'être achevés en 1882. Mais les difficultés bien connues que l'on rencontre pour la transmission sur les longs câbles, et que l'on n'avait point encore appris à surmonter par des moyens simples, rendaient laborieux le fonctionnement

des appareils ordinaires sur les lignes nouvelles; on hésitait, d'ailleurs, à recourir aux procédés délicats et pénibles de la télégraphie sous-marine. En sorte que, tant que la nécessité absolue ne s'en faisait point sentir, plutôt que de ralentir l'écoulement des dépêches, on préférait travailler sur les fils aériens et laisser à peu près inactifs les conducteurs souterrains.

Cette situation transitoire fournit à M. Blavier l'occasion attendue. Ces longues lignes, que n'occupait point le service des transmissions, constituaient un instrument d'étude d'une toute autre puissance que les courts tronçons que les précédents expérimentateurs avaient établis à grand'peine, et sur lesquels ils avaient inutilement essayé d'opérer. On y pourrait donner aux observations telle durée, aux appareils telle délicatesse qui serait jugée désirable, puisque le temps n'était plus mesuré pendant lequel on pourrait librement disposer du fil, puisque aucun courant, ni sur le fil lui-même, ni dans son voisinage, ne viendrait mêler et confondre ses effets avec ceux du courant naturel, et déformer par cette superposition inextricable les tracés des enregistreurs. Comme toujours plusieurs fils courent côte à côte sur chaque direction, et qu'il est aisé de couper les uns et les autres à des distances différentes, on pouvait, mieux qu'en aucun cas, se rendre compte en quelle proportion les effets dépendent, à un même jour et pour une direction identique, de la longueur du fil mis en expérience; et comme autour de Paris, où M. Blavier voulait établir le siège de ses études, rayonnaient plusieurs lignes dans les orientations les plus variées et les mieux définies, il était commode également de comparer les effets pour des fils de longueurs semblables, mais di-

versement dirigées. Enfin, comme ces artères principales se trouvaient reliées les unes aux autres par des lignes transversales, il était possible aussi de constater sur ces conducteurs de grande étendue, si le tracé lui-même avait quelque influence, ou si tout dépendait du point origine et du point terminal. Tous ces avantages, que M. Blavier avait mesurés par avance, lui donnaient bon espoir de mener à fin cette délicate étude; il demanda donc l'autorisation d'employer à cet usage les fils souterrains disponibles. Avec une libéralité que M. Blavier se plaisait à reconnaître, M. Cochery s'empressa d'accorder toutes facilités, et pourvut, par l'ouverture d'un crédit, aux frais des expériences.

Restait à déterminer la manière d'opérer; M. Blavier estimait que pour aborder une question aussi obscure, où l'on n'avait pas le moindre indice pour diriger les recherches, des observations espacées ne pouvaient suffire : trop éloignées et faites à des intervalles arbitraires, elles risquaient de laisser échapper des faits essentiels, et n'auraient pas constitué un progrès sur les travaux antérieurs; plus fréquentes, elles devenaient pénibles sans offrir encore une véritable sécurité. L'enregistrement continu, automatique, pouvait seul lever ces difficultés en apparence contradictoires; il présentait en même temps cet avantage de se prêter mieux qu'aucune autre méthode à la comparaison, faite à loisir, de phénomènes simultanés sur différentes lignes. Enfin, quelque incomplètes que fussent les observations précédentes, elles s'accordaient entre elles et avec l'expérience journalière des services télégraphiques pour signaler une certaine concordance entre l'apparition des courants telluriques les plus in-

tenses et les principales perturbations des éléments magnétiques terrestres. Or justement, pour l'étude des éléments magnétiques, M. Mascart venait de combiner et d'établir dans plusieurs observatoires un système d'enregistrements continus et automatiques; il était indiqué d'adopter un système analogue pour l'étude des courants telluriques, et c'est à quoi M. Blavier s'était arrêté. Nous renverrons le lecteur au mémoire original : *Étude sur les courants telluriques*, pour les détails pratiques de ces observations patiemment poursuivies pendant plus de deux ans, et nous nous bornerons ici à en rappeler brièvement les résultats.

On peut désormais considérer comme établi que le sens des courants telluriques qui, à chaque instant, parcourent une ligne télégraphique, ne dépende que de la position des extrémités de cette ligne, et qu'à ce point de vue il n'importe pas que le tracé des fils soit direct, ou qu'il emprunte des détours pour arriver au point terminal, ni même que oes fils soient aériens ou souterrains. Quant à la grandeur ou intensité de ces courants, pour des lignes affectant une même direction, les effets sont d'autant plus énergiques que la distance est plus grande entre les extrémités, ce qui permet, par la connaissance des courbes des courants telluriques traversant deux lignes d'orientations différentes, de déterminer la direction vraie du courant tellurique au point où se croisent ces deux lignes. La relation des courants telluriques et des variations du magnétisme terrestre apparaît par une corrélation à peu près absolue des courbes de la composante horizontale avec celles de l'intensité dans une ligne télégraphique dirigée suivant le méridien magnétique, des

courbes de la déclinaison avec celles de l'intensité dans une ligne perpendiculaire au méridien magnétique; dans l'un et l'autre cas, l'intensité est proportionnelle à la variation de l'élément magnétique correspondant, qu'il s'agisse de variations accidentelles ou de variations périodiques. On peut légitimement rapprocher deux ordres de phénomènes dont le lien est ainsi rendu visible. De quelque façon que l'on fasse la comparaison, que l'on considère les variations accidentelles ou les variations périodiques; que l'on se serve pour cet examen de l'un ou de l'autre des éléments magnétiques, on parvient à cette conclusion de première importance : c'est que ce n'est pas dans les profondeurs du sol, mais au contraire dans les régions supérieures de l'air que doivent circuler ces flux électriques dont nous n'avons point encore la connaissance directe, mais auxquels il semble vraisemblable d'attribuer les variations du magnétisme terrestre, et, par contre-coup, les courants telluriques eux-mêmes. Sans doute nous ne savons rien de bien positif sur l'existence de ces courants supérieurs, encore moins sur leur origine; et M. Blavier devait entourer sa conclusion de réserves expresses, qu'il n'a pas manqué d'y joindre. Mais si modeste dans la forme que soit cette conclusion, elle s'appuie du moins sur des observations indiscutables; des faits, des résultats certains ont été acquis à la science, et nous ne saurions en mieux faire ressortir la valeur qu'en rappelant le jugement de sir William Thomson : « *que, depuis Gauss, il n'avait point été apporté de contribution plus importante à l'étude du magnétisme terrestre.* »

Pour qui n'eût connu M. Blavier que par ses ouvrages, pour qui même l'aurait vu par occasion, ce

beau mémoire eût semblé le prélude, le gage assuré de bien d'autres. Mais, si l'esprit avait conservé toute sa vigueur et son activité, s'il était toujours aussi curieux de recherches, les forces physiques ne répondaient plus à son ardeur : une affection ancienne, longtemps demeurée stationnaire, avait brusquement changé de caractère et fait des progrès assez rapides pour éveiller les plus sérieuses inquiétudes. Tout travail, dans ces conditions, toute fatigue devenait un danger, et M. Blavier dut consentir à prendre du repos. De passage à Nancy, au moment où s'y tenait le Congrès de 1886 de l'Association française, il fut, par l'acclamation spontanée de toute l'assemblée, porté à la vice-présidence; et, pour répondre à une démonstration si flatteuse, il dut encore donner en quelques mots l'exposé de ses recherches sur les courants telluriques. Mais ce fut la dernière manifestation scientifique de cette claire intelligence ; comme quelques mois plus tard, son dernier effort fut, pour porter à ses collègues du bureau de la Société de physique, à la réunion annuelle, un suprême témoignage de son amitié. Aucun de ceux qui étaient présents à cette séance, n'en saurait perdre le souvenir : la physionomie de notre cher maître, d'ordinaire éclairée par son bienveillant sourire, sa bonne humeur aimable, portait l'empreinte de la lassitude et de la souffrance ; la parole, même à demi-voix, lui était pénible; la marche, au bout de quelques pas, le fatiguait. Nous ne l'avons plus revu.

Dans ces lignes consacrées à une carrière administrative et scientifique, il ne devrait point y avoir place pour parler de l'homme privé, et nous devrions borner l'expression de nos regrets à la perte qu'ont faite, en perdant M. Blavier, la Science et le service des Télé-

graphes français. Tant de travaux, de recherches originales ou d'exposés lumineux que l'on était en droit d'attendre encore de lui! une direction si sûre, si expérimentée pour initier les nouveaux venus à l'étude pratique de l'électricité et de la télégraphie! Qu'il nous soit permis cependant de ne point nous en tenir là; nous avons à acquitter une dette de reconnaissance et de respect. Comment ne pas rappeler, après en avoir été le témoin de chaque jour, après les avoir éprouvées nous-même, l'élévation morale, la droiture, le desintéressement, la modestie presque craintive de M. Blavier, sa bonté accueillante, cette douceur et cette simplicité de rapports qui le rendaient si accessible aux petits, cette indépendance de jugement qui n'avait souci que de la vérité? Et, puisque, par un autre malheur, c'est à nous, et non au maître tragiquement enlevé, que revient le devoir de dire les dernières paroles dans ce témoignage rendu à la mémoire de M. Blavier, nous voulons particulièrement nous faire l'interprète de ceux qui, comme nous, s'honorent d'être ses élèves; nous voulons, en leur nom, consacrer à cette sereine figure un pieux souvenir, un hommage de notre vénération.

G. SÉLIGMANN-LUI.

TEMPÉRATURES DES MERS

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA PRESSION SUR L'AME DES CABLES SOUS-MARINS

I. — TEMPÉRATURE DES MERS.

Cette question ayant déjà été traitée dans différents ouvrages (*), nous nous contenterons de résumer les résultats obtenus et d'indiquer brièvement les conclusions qui semblent se dégager des nombreuses recherches effectuées depuis vingt ans au cours des grandes expéditions scientifiques telles que les campagnes des navires le *Porcupine*, le *Challenger*, le *Tuscarora*, le *Travailleur* et le *Talisman*, et aussi des sondages préliminaires aux poses des câbles sous-marins (**).

On connaît les instruments généralement employés pour l'observation des températures des eaux profondes :

(*) Voir celui de sir Wyville Thomson : *The depths of the sea* et le *Traité de télégraphie sous-marine*, de M. Vunschendorff, signalé à l'attention des lecteurs des *Annales télégraphiques* dans le numéro de septembre-octobre 1888.

(**) Nous devons beaucoup, pour cette étude, à la très intéressante communication de M. Lant Carpenter faite en novembre dernier à la Society of Telegraph Engineers and Electricians et à la discussion qui l'a suivie.

1° Le thermomètre Miller-Casella qui consiste dans une modification du thermomètre à maxima et minima de Six (*);

2° Le thermomètre Siemens basé sur la variation avec la température de la résistance électrique d'un conducteur métallique.

MM. Negretti et Zambra ont construit un autre type sur les indications du commandant Magnaghi, de la marine royale italienne, mais cet instrument est moins facile à employer que le Miller-Casella pour les observations en eau profonde. La cuvette est, comme dans le Miller-Casella (*fig.* 1), protégée contre l'effet de la pression de l'eau pour les grandes profondeurs, au moyen d'une enveloppe de verre qui y est soudée; l'espace séparant la cuvette de son enveloppe est partiellement rempli d'alcool. Immédiatement au-dessus de la cuvette, le tube thermométrique présente un étranglement, puis un petit réservoir A. L'étranglement a pour but de briser à un moment donné la colonne de mercure. Le mercure est en quantité suffisante pour remplir complètement la cuvette et une partie du petit réservoir. Durant la descente au fond de la mer, l'instrument est dans la position indiquée par la *fig.* 2 avec la cuvette dans la position habituelle, c'est-à-dire tournée vers le bas. Dès que l'on commence à remonter la ligne de sonde, par suite de la rotation d'une sorte d'hélice qui agit sur une vis retenant le thermomètre, l'instrument chavire en prenant la position indiquée par la *fig.* 3. Dans ce mouvement de renversement de la cuvette, la colonne de mercure se brise à l'étranglement et tout ce qui était dans le

(*) Daguin, *Physique*, t. II, 4e édit., p. 614. — Wyville Thomson *The depths of the sea*, 2e édit., p. 288.

petit réservoir tombe au fond du tube. La mesure de la longueur de la colonne, faite avec une échelle qui

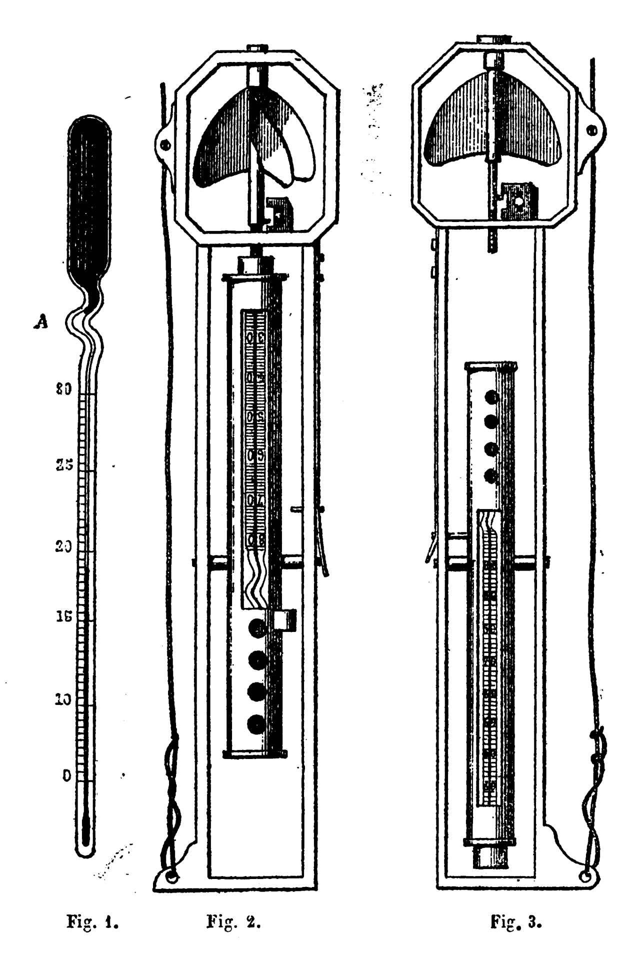


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

a été graduée par comparaison, fait connaître à quelle température se trouvait le thermomètre au moment où il a chaviré.

On détermine les températures de l'eau à diverses

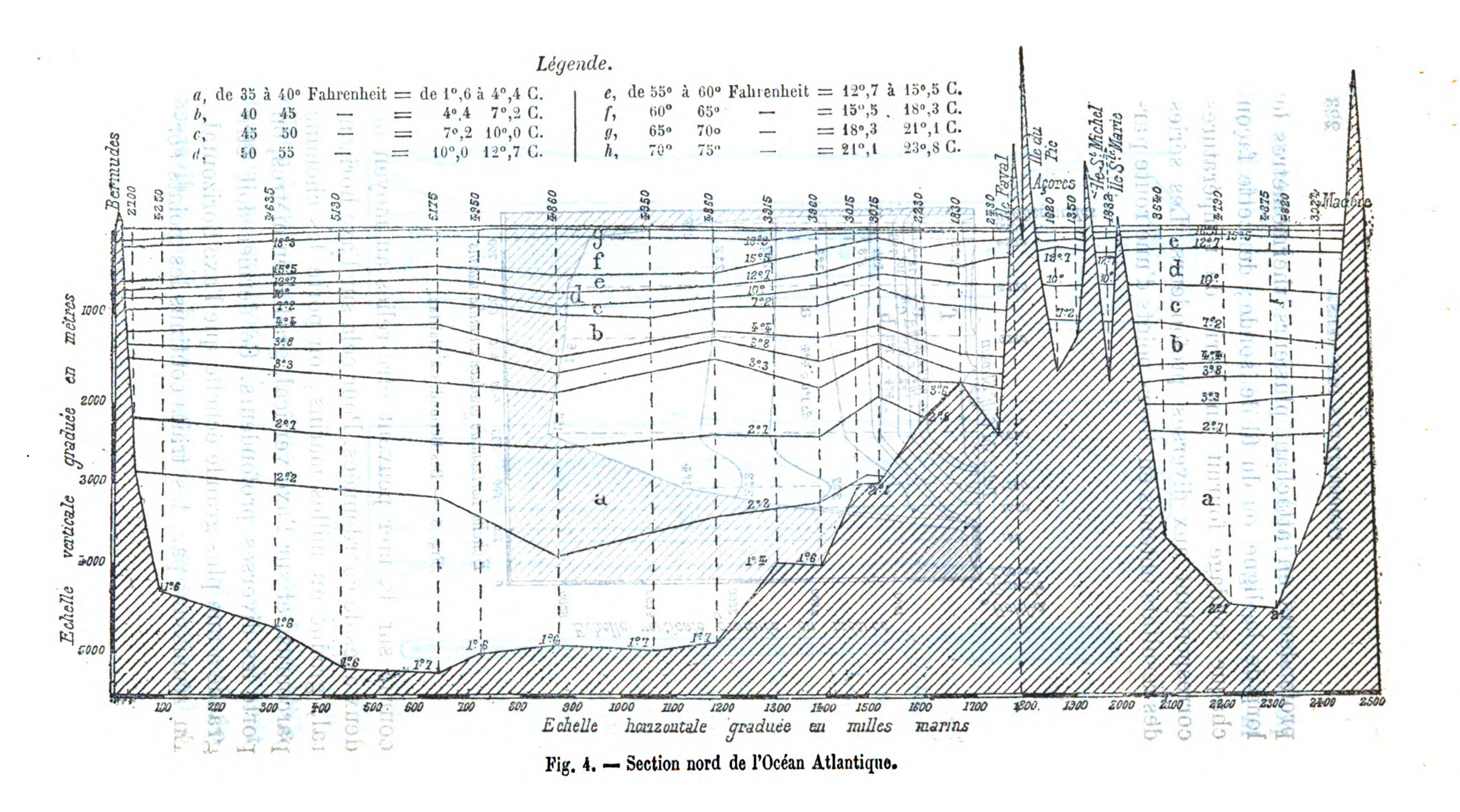


Fig. 4. — Section nord de l'Océan Atlantique.

profondeurs en attachant plusieurs thermomètres le long de la ligne ou du fil de sonde ; de cette façon chaque sondage fournit une série de températures correspondant aux diverses profondeurs. Les séries des résultats obtenus en divers points d'une route par-

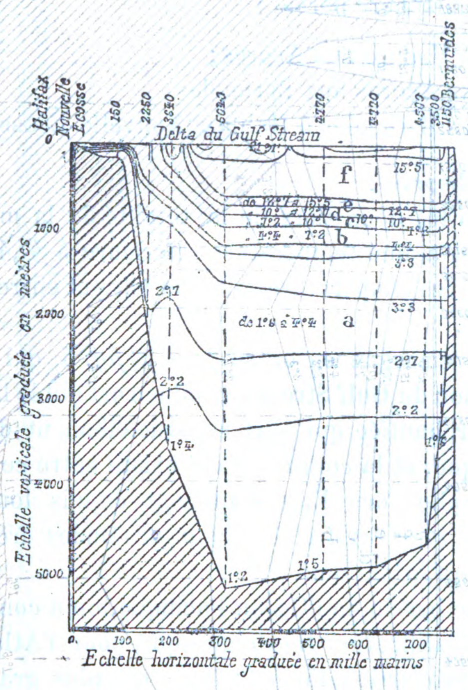


Fig. 5. — Des Bermudes à Halifax.

courue sur la mer peuvent être reliés au moyen de deux axes de coordonnées. Pour cela sur l'axe horizontal, gradué en milles marins, on porte les chemins parcourus, et sur l'axe vertical, gradué en mètres, on porte les diverses profondeurs. Ce dernier doit être gradué à une plus grande échelle que l'axe horizontal. En réunissant par des traits continus les points cor-

respondant à la même température, on obtient ce qu'on peut appeler des lignes isothermes bathymétriques.

Voici quelques-unes de ces lignes :

Les *fig.* 4 et 5 montrent des sections de l'Atlantique dans l'hémisphère boréal :

> de Madère aux Açores;
> des Açores aux Bermudes;
> des Bermudes à Halifax (Nouvelle-Écosse).

On y observe :

1° Que les deux tiers de la totalité de la masse de l'eau sont à une température inférieure à 4°,4 C.;

2° Que les températures au fond varient entre 1°,5 C. et 3°,6 C.

— On remarque en outre dans la *fig.* 5, qui montre une section du Gulf Stream, combien est faible la masse d'eau surchauffée qui sort superficiellement du golfe du Mexique, et la continuité qui existe entre ce que les hydrographes des États-Unis ont depuis longtemps appelé *le mur froid* et les eaux profondes froides du bassin de l'Atlantique.

Pour le bassin de l'Océan Pacifique, on a constaté la même stratification thermique que pour l'Atlantique, mais la proportion d'eau froide y est plus grande, et, d'autre part, les températures du fond y sont plus basses, comme, d'ailleurs, les fonds y sont plus grands.

La *fig.* 6 montre une section de l'Atlantique dans la région équatoriale; on y observe que le commencement des couches d'eau froide y est à une moins grande profondeur que partout ailleurs. Comme, d'autre part, la température à la surface est très élevée, la chute de température est très rapide et les diverses lignes

isothermes sont séparées, les unes des autres, par des bandes très étroites.

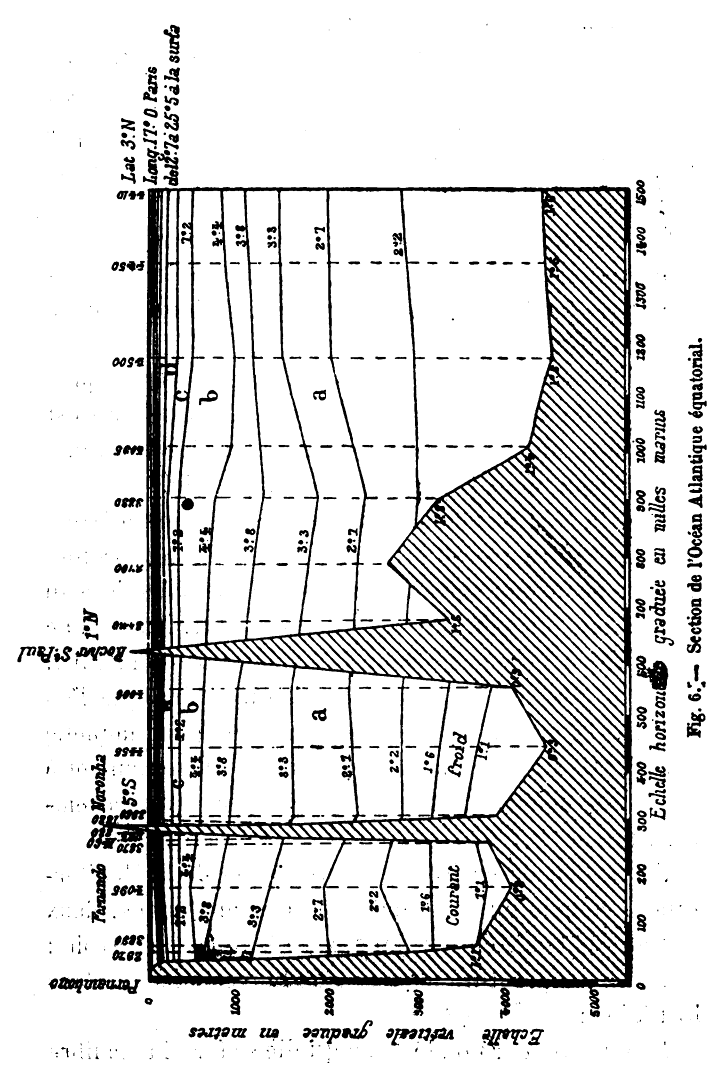


Fig. 6. — Section de l'Océan Atlantique équatorial.

La stratification thermique des mers qui ne sont pas

complètement en communication avec les grands océans présente de curieuses particularités.

Ces mers sont de deux catégories :

En premier lieu, celle qui, comme la Méditerranée, sont presque complètement enfermées dans les terres et ne communiquent avec les grands océans que par un ou plusieurs détroits pour lesquels la profondeur n'est pas très grande ;

En second lieu, celles qui sont presque complètement en communication à la surface, mais qui ne le sont pas pour les grandes profondeurs par suite d'une ceinture de hauts fonds.

Ces mers constituent, à partir d'une certaine profondeur, de vastes cuvettes dans lesquelles l'eau est stagnante au lieu d'être soumise à des courants comme ceux dont il sera question plus loin.

Dans la Méditerranée, pour les 200 premiers mètres, la température décroît proportionnellement à la profondeur de beaucoup suivant la même loi que dans l'Océan Atlantique, un peu au large de Gibraltar. Au delà de cette profondeur, qui présente la température de 12°,8 C., il n'y a plus de chute de température, bien que l'on atteigne la profondeur de 3.600 mètres, pour laquelle dans l'Atlantique, à la même latitude et seulement à une petite distance à l'ouest de Gibraltar on a la température de 2°,2 C.

Il y a lieu de croire que dans le cas de la Méditerranée, comme du reste dans les cas analogues, deux facteurs entrent en jeu dans ces résultats, à savoir :

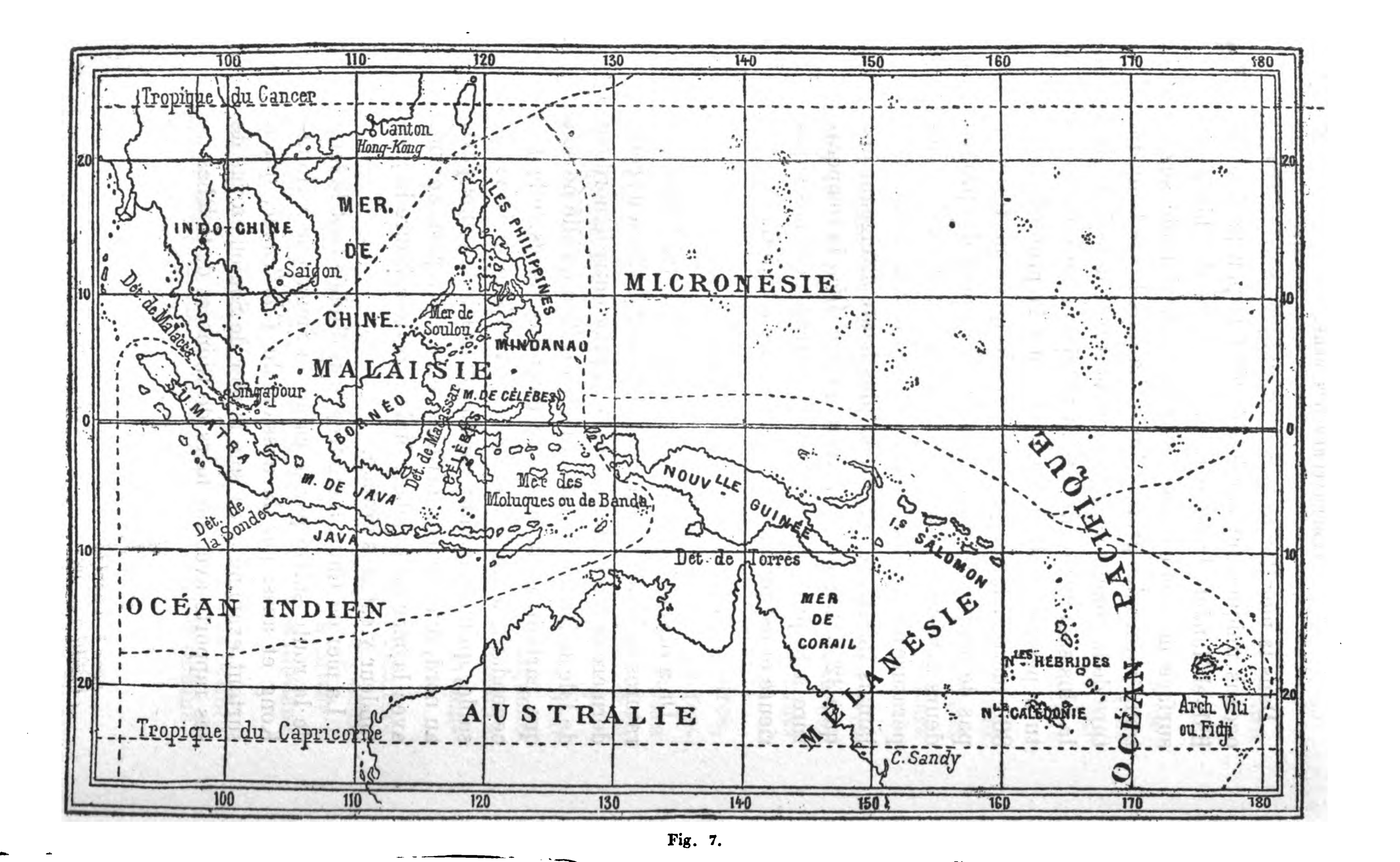
1° La température moyenne de l'hiver existant dans la région ;

2° Surtout la profondeur à laquelle se termine la libre communication de ces mers avec les grands océans.

Dans la mer Rouge, qui communique avec les grands océans uniquement par le détroit fort peu profond de Bab-el-Mandeb, la température moyenne de l'hiver à la surface de l'eau a une influence considérable sur la température des grands fonds. La plus basse température de la couche superficielle, observée dans la région la plus septentrionale atteint 21°,6 C et cette température persiste uniformément jusqu'à la profondeur de 800 mètres. Il est presque certain qu'on ne trouvera pas de température plus basse, même pour des profondeurs atteignant 1.800 mètres, car la plus basse température observée à la surface dans la région sud n'est jamais inférieure à 24° C, la plus haute atteignant jusqu'à 32° C. Cependant dans le *golfe d'Aden* la température à la profondeur de 3 600 mètres n'est pas supérieure et est probablement inférieure à 2°,5 C.

On a observé un contraste analogue entre les températures de la mer de Chine et de la mer de Soulou; cette dernière de faible étendue est comprise entre le nord-est de l'île de Bornéo et l'île Mindanao. Bien qu'elle ne soit que partiellement enfermée dans les terres, elle n'a cependant, à cause de lignes de récifs et de bancs de sable, qu'une communication superficielle d'une part, au nord, avec la mer de Chine, et, d'autre part, au sud, avec la mer de Célèbes. Malgré cette ceinture la profondeur y est très grande.

La mer de Chine a été très bien étudiée tout le long de la route suivie par le câble de Singapour à Hong-Kong et aussi par la mission du *Challenger*, qui a surtout examiné avec soin la mer de Soulou en vue de ses rapports avec les mers de Chine et de Célèbes.



Tropique du Cancer
Canton
Hong-Kong
MER DE CHINE
INDO-CHINE
Saigon
Dét. de Malacca
Singapour
SUMATRA
MALAISIE
BORNÉO
ILES PHILIPPINES
Mer de Soulou
MINDANAO
M. DE CÉLÈBES
Dét. de Macassar
CÉLÈBES
M. DE JAVA
JAVA
Dét. de la Sonde
Mer des Moluques ou de Banda
MICRONÉSIE
NOUVLLE GUINÉE
Dét. de Torres
IS SALOMON
MER DE CORAIL
MÉLANÉSIE
NLES HÉBRIDES
NLLE CALÉDONIE
Arch. Viti ou Fidji
OCÉAN PACIFIQUE
OCÉAN INDIEN
AUSTRALIE
C. Sandy
Tropique du Capricorne

Fig. 7.

Le tableau ci-dessous montre les résultats comparatifs de ces observations :

Profondeur.	Mer de Chine.	Mer de Soulou.
Surface	28°,8 C.	28°,3 C.
55 mètres	25	»
De 70 à 145 mètres	21 ,6	»
180 mètres	»	18
360 —	10 ,5	»
560 —	»	10 ,8
750 —	5	»
De 900 à 2.900 mètres	»	10 ,2
De 1.215 à 2.790 —	2 ,7	»

Dans la mer de Soulou la température de 28°,3 C à la surface descend rapidement à 15°,5 C, mais la ligne

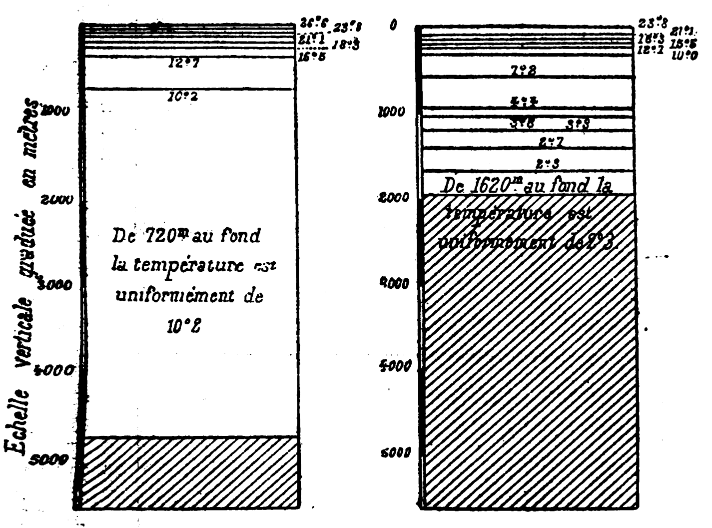


Fig. 8. — Mer de Soulou, *Challenger*. Fig. 9. — Mer de Chine, *Challenger*.

isotherme de 12°,7 C se trouve à peu près à la même profondeur que dans les mers de Chine et de Célèbes.

A partir de là, la chute est très lente et la température

de 10°,2, que l'on trouve seulement à la profondeur de

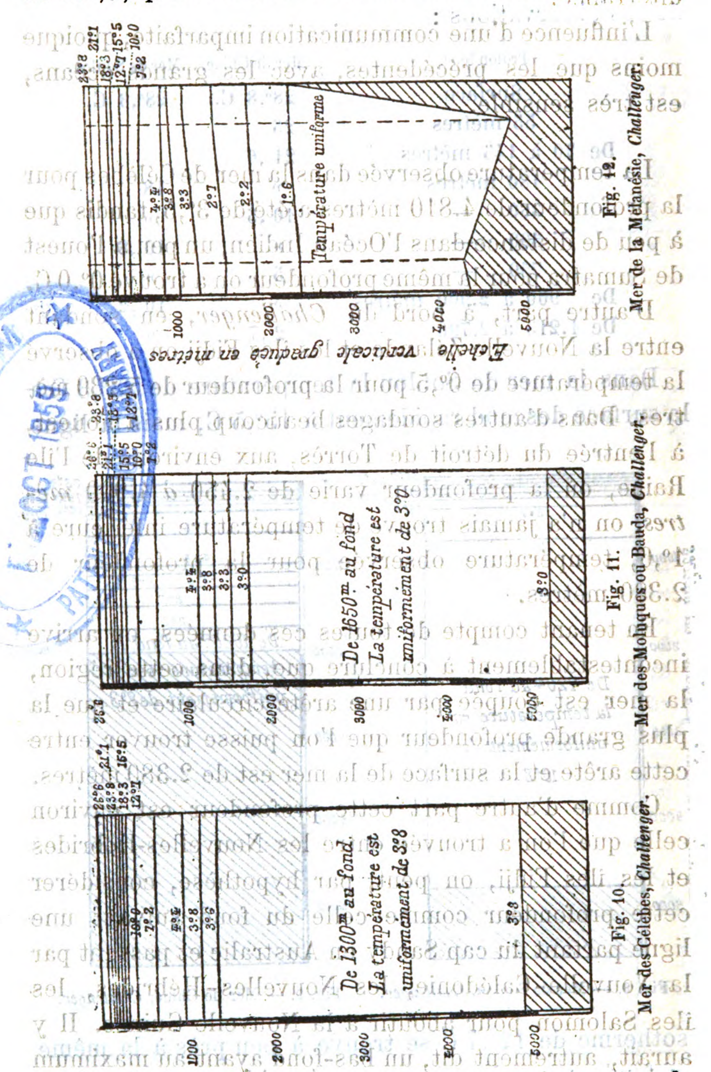


Fig. 12. Mer de la Mélanésie, *Challenger*.

Fig. 11. Mer des Moluques ou Banda, *Challenger*.

Fig. 10. Mer des Célèbes, *Challenger*.

720 mètres, s'observe ensuite jusqu'à la profondeur la plus grande de 4.600 mètres. En somme, cette mer

présente les mêmes conditions particulières que la Méditerranée.

L'influence d'une communication imparfaite, quoique moins que les précédentes, avec les grands océans, est très sensible.

La température observée dans la mer de Célèbes pour la profondeur de 4.810 mètres a été de 3°,5, tandis que à peu de distance dans l'Océan Indien, un peu à l'ouest de Sumatra pour la même profondeur on a trouvé 0°,0 C.

D'autre part, à bord du *Challenger*, en sondant entre la Nouvelle-Zélande et les iles Fidji on a observé la température de 0°,5 pour la profondeur de 5.230 mètres. Dans d'autres sondages beaucoup plus à l'ouest, à l'entrée du détroit de Torrès, aux environs de l'île Raine, où la profondeur varie de 2.450 *à 4.900 mètres*, on n'a jamais trouvé de température inférieure à 1°,6, température observée pour la profondeur de 2.380 mètres.

En tenant compte de toutes ces données, on arrive incontestablement à conclure que, dans cette région, la mer est coupée par une arête circulaire et que la plus grande profondeur que l'on puisse trouver entre cette arête et la surface de la mer est de 2.380 mètres.

Comme d'autre part cette profondeur est environ celle que l'on a trouvée entre les Nouvelles-Hébrides et les iles Fidji, on peut, par hypothèse, considérer cette profondeur comme celle du fond suivant une ligne partant du cap Sandy en Australie et passant par la Nouvelle-Calédonie, les Nouvelles-Hébrides, les iles Salomon pour aboutir à la Nouvelle-Guinée. Il y aurait, autrement dit, un bas-fond ayant au maximum 2.380 mètres suivant tout ce tracé, et, dans la mer

dite de Corail, comprise entre les Nouvelles-Hébrides et le détroit de Torrès, l'eau serait, à partir de 2.380 mètres de fond, stagnante comme dans la Méditerranée et les autres mers isolées des grands océans.

Des considérations générales intéressantes pour la science se déduisent de tous ces résultats.

De nombreuses observations prouvent d'une façon certaine que les eaux profondes des grands océans ne sont pas stagnantes, comme on serait porté à le croire de prime abord, mais sont entraînées dans des courants. D'autre part, les eaux superficielles le sont aussi. Ainsi dans l'hémisphère nord, les couches supérieures des grands océans se meuvent suivant la direction N.-E., tandis que les couches inférieures se meuvent suivant la direction S.-O. C'est l'inverse dans l'hémisphère sud.

Il est facile de s'expliquer ce mouvement général par suite des différences de poids spécifiques que créent les différences de température : les couches superficielles chaudes des zones équatoriale et tempérée se précipitent vers les zones arctiques qui sont plus froides. Il en résulte, dans ces dernières, des courants d'eau froide verticaux de haut en bas donnant lieu au mouvement des eaux profondes en sens contraire du mouvement des eaux supérieures, c'est-à-dire des zones arctiques vers la zone équatoriale.

Le double afflux d'eau froide dans cette dernière zone détermine un courant vertical ascensionnel, et c'est par suite de ce volume considérable d'eau froide qui se précipite dans la région équatoriale, que, comme on l'a vu plus haut, l'eau froide est sous l'équateur plus près de la surface que partout ailleurs, alors que

les couches superficielles sont dans cette région à des températures plus élevées.

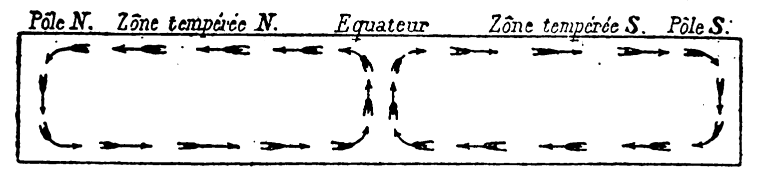


Fig. 13.

Cette grande circulation verticale des eaux des grands océans est semblable, mais avec des proportions gigantesques, à ce qui se passe dans les appareils de chauffage par circulation d'eau.

Cette théorie acceptée, l'explication des phénomènes singuliers que présentent les mers en communication incomplète avec les grands océans, devient évidente. Elles sont, en effet, plus ou moins séparées de la circulation générale, soit par les continents qui les enferment, soit par les lignes de récifs ou de hauts fonds qui constituent de véritables barrières. Il en résulte qu'elles ne reçoivent qu'une portion limitée de l'eau froide en circulation dans les couches inférieures.

C'est ainsi que dans le cas de la Méditerranée dont la seule communication avec le système général océanique a lieu par le détroit de Gibraltar, dont la profondeur maximum est de 360 mètres environ, il n'existe pas d'eau plus froide que celle qui circule dans l'Océan Atlantique à cette profondeur de 360 mètres. Aussi la température minimum observée dans la Méditerranée pour n'importe quel fond est-elle de 12°,8.

Les considérations précédentes ont un caractère général et pour approfondir la question et dégager les cas particuliers, il faut tenir compte, en outre, des

formes des continents, des communications des divers océans entre eux, etc. ; il est, par exemple, facile de comprendre que toute l'eau froide de l'Océan Pacifique provient de l'hémisphère austral ; en effet cet océan ne communique avec l'Océan glacial Arctique que par le détroit de Behring, très peu profond, et servant de passage seulement aux eaux chaudes de la surface qui se précipitent vers le pôle nord.

Cette étude de la température de l'Océan est d'un grand intérêt, au point de vue de la télégraphie sous-marine, car elle vient donner son appui comme renseignements aux campagnes de sondages et peut faire connaître l'existence de grandes lignes de dénivellation du fond de la mer que, peut-être, des sondages même très rapprochés n'auraient pas suffisamment définies. Mais elle est aussi fort intéressante en ce qui concerne les études climatologiques et la navigation.

II. — INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE.

L'observation des températures de la mer qui a fourni à la science, comme on vient de le voir, des renseignements précieux donne lieu à d'utiles applications en ce qui concerne la télégraphie sous-marine.

Les câbles sous-marins sont, en effet, doublement affectés par les variations de température : — d'une part, la résistance électrique du conducteur en cuivre croît avec la température ; — en second lieu la résistance d'isolement de la gaîne isolante qui entoure le conducteur, varie en raison inverse de la température.

La température de la mer variant avec la profondeur, toutes les parties d'un câble sous-marin reliant

deux points de la surface de la terre à travers la mer ne sont pas à la même température, puisque ce câble part de la surface, pour aboutir à la surface, en décrivant toutes les dénivellations que présente le fond de la mer suivant son tracé. En admettant qu'avant sa pose, le câble fût parfaitement homogène au point de vue électrique, il ne l'est plus une fois posé et ses diverses parties n'ont plus par unité de longueur, ni la même résistance électrique du conducteur, ni la même résistance d'isolement du diélectrique. Si donc on veut apprécier les qualités électriques du câble posé et les comparer à celles qu'il avait immédiatement avant la pose, afin de se rendre compte que les opérations d'immersion ne l'ont pas altéré, ou dans un but purement scientifique, il faut introduire le calcul pour effectuer les corrections nécessitées par les variations de température. Nous allons étudier en quoi consistent ces corrections.

Quand il s'agit d'un câble très court, comme les petits câbles côtiers, en général posés par de petits fonds, ou bien de longs câbles posés dans des régions où la profondeur et la température du fond sont en quelque sorte constantes, on ne se préoccupe pas des diverses températures que présentent les différentes parties du câble : on adopte une température moyenne que l'on suppose être la température de tout le câble et qui sert de base aux calculs de correction. Ce procédé n'est pas absolument exact, mais il est largement suffisant. On peut aussi se borner à une pareille approximation quand il s'agit de câbles tels que ceux de Marseille à Alger, qui traversent une mer sans communication complète avec les grands océans et dont la température du fond est indépendante des plus ou moins grandes dénivellations qu'il présente suivant les

tracés du câble (à la condition, cependant, que toutes ces dénivellations soient séparées de la surface par une profondeur d'eau supérieure à la profondeur la plus grande que présente la communication de cette mer avec les grands océans). En outre, dans le cas de la Méditerranée, qui a la forme d'une grande cuvette, dont les bords sont très escarpés, les atterrissements sont très courts et la longueur du câble de grand fond, représente presque entièrement la longueur totale du câble. Dans ce cas de la Méditerranée, on peut donc, sans grande erreur, adopter comme température du câble entier la température moyenne de la mer dans les eaux profondes, soit, comme on l'a vu précédemment, 12°,8 C.

On ne peut évidemment pas opérer de la même façon, dans le cas d'un câble immergé à travers un grand océan et suivant un tracé présentant de grandes dénivellations du fond, car les diverses parties du câble sont alors à des températures très différentes les unes des autres. En pareil cas il faut commencer par établir le profil du tracé du câble, au point de vue de la température du fond de la mer.

Cela suppose que dans la campagne de sondages qui a précédé la pose, on a fait des sondages complets, c'est-à-dire que, pour chacun d'eux, on a observé et le nombre de brasses ou de mètres mesurant la profondeur, et la température du fond.

Pour établir le profil en question, on prend deux axes de coordonnées rectangulaires. Sur l'axe horizontal OX (*fig.* 14) dont la graduation représente des milles marins, on porte des longueurs OA, OB, OC, OD..., etc., représentant les distances mesurées sur la carte marine, suivant le tracé développé du câble, qui sépa-

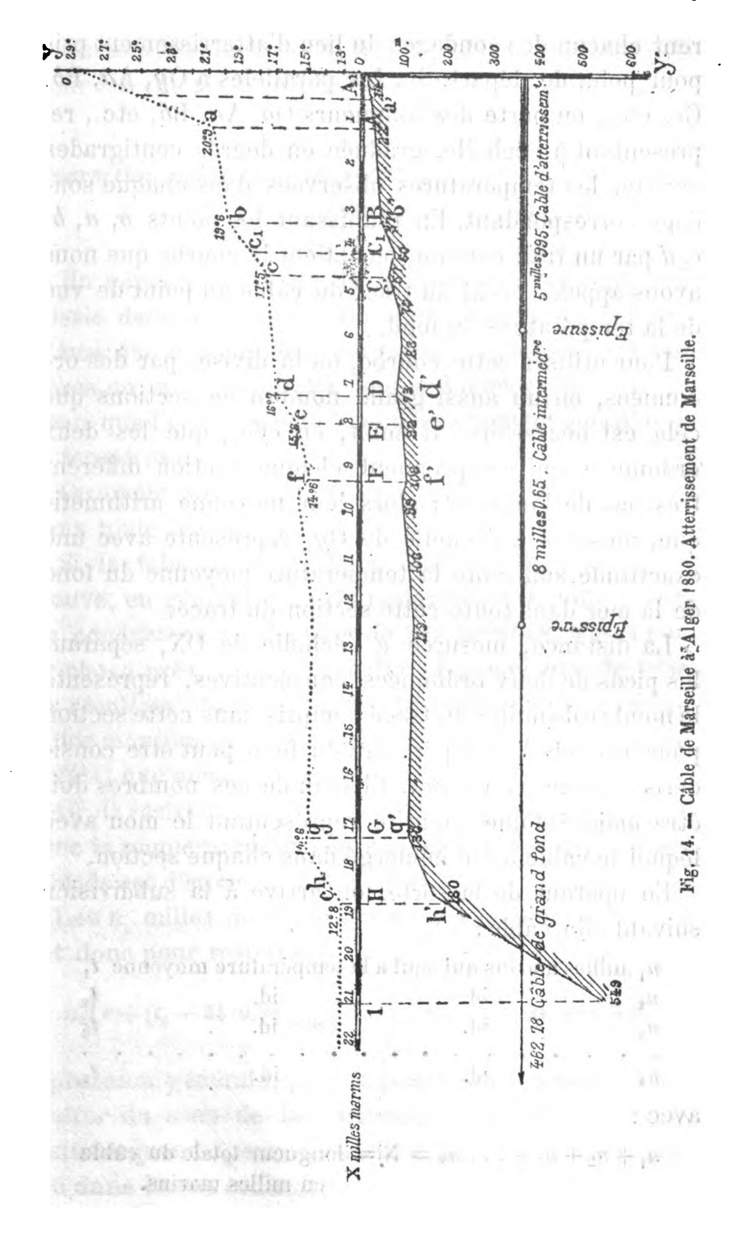


Fig. 14. — Câble de Marseille à Alger 1880. Atterrissement de Marseille.

rent chacun des sondages du lieu d'atterrissement pris pour point de départ. Sur les parallèles à Oy, Aa, Bb, Cc, etc., on porte des longueurs Oo, Aa, Bb, etc., représentant à l'échelle, graduée en degrés centigrades sur Oy, les températures observées dans chaque sondage correspondant. En réunissant les points o, a, b, c, d par un trait continu, on obtient la courbe que nous avons appelée profil du tracé du câble au point de vue de la température du fond.

Pour utiliser cette courbe, on la divise, par des ordonnées, en un aussi grand nombre de sections que cela est nécessaire. Il suffit, en effet, que les deux ordonnées qui comprennent chaque section diffèrent très peu de longueur ; alors leur moyenne arithmétique, mesurée à l'échelle de Oy, représente avec une exactitude suffisante la température moyenne du fond de la mer dans toute cette section du tracé.

La distance, mesurée à l'échelle de OX, séparant les pieds de deux ordonnées consécutives, représente le nombre de milles du tracé compris dans cette section pour lesquels la température du fond peut être considérée comme constante. Chacun de ces nombres doit être majoré d'une quantité représentant le mou avec lequel le câble a été immergé dans chaque section.

En opérant de la sorte, on arrive à la subdivision suivante du câble :

n_1	milles marins qui sont à la	température moyenne	t_1
n_2	id.	id.	t_2
n_3	id.	id.	t_3
. . .	. . .	. . .	. . .
n_k	id.	id.	t_k

avec :

$$n_1 + n_2 + n_3 + \dots n_k = N = \text{longueur totale du câble en milles marins.}$$

Ce sont les nombres n_1 n_2 n_3... t_1 t_2 t_3... qui servent pour les calculs de correction.

Correction relative à la résistance du conducteur en cuivre.

En général, en cours de fabrication d'un câble, on essaie dans les mêmes conditions toutes les bobines d'âme qui doivent être employées. Cet essai est fait après un minimum de 24 heures d'immersion dans de l'eau que l'on maintient le plus exactement possible à la température constante de 24° C.

On opère ainsi pour être sûr qu'elles ont bien pris dans toute leur masse cette température.

Si la fabrication de l'âme est très régulière, on trouve, en général, pour la résistance par mille marin du conducteur de chacune de ces bobines, à très peu de chose près, le même résultat. La moyenne de tous les résultats obtenus représente exactement la résistance moyenne par mille marin du conducteur du câble à 24° C que nous désignerons par r.

Or, la résistance du cuivre croît proportionnellement avec la température et l'accroissement par degré centigrade est d'environ 0,38 p. 100.

Les n_1 milles de câble qui sont à la température t_1 ont donc pour résistance

$$n_1\left[r + (t_1 - 24)0{,}38\,\frac{r}{100}\right] = n_1 r[1 + (t_1 - 24)0{,}0038],$$

expression générale, pour laquelle il n'y a pas à s'inquiéter du sens de la correction. La correction est positive quand t_1 est supérieur à 24° C; elle est négative dans le cas contraire.

Les n_2 milles de câble qui sont à la température t_2 ont pour résistance :

$$n_2 r[1 + (t_2 - 24)0{,}0038].$$

La résistance totale du câble immergé, R′, calculée, est donc égale à :

$$\begin{aligned} R' &= n_1 r[1+(t_1-24)0{,}0038]+n_2 r[1+(t_2-24)0{,}0038)+\ldots\ldots + \\ &= r(n_1+n_2+n_3+\ldots+n_k) \\ &\qquad + r \times 0{,}0038[n_1(t_1-24)+n_2(t_2-24)+\ldots] \\ &= Nr + 0{,}0038r(n_1t_1+n_2t_2+\ldots+n_kt_k-24N). \end{aligned}$$

R, désignant la résistance totale du câble à 24° C, on a $R = Nr$ et par suite

$$R' = R + 0{,}0038r(n_1t_1 + n_2t_2 + \ldots + n_kt_k - 24N),$$

que l'on peut encore écrire

$$(\alpha) \qquad R' = R + 0{,}0038r(\Sigma nt - 24N),$$

Σnt désignant la somme des produits nt calculés pour chacune des sections du profil.

Le deuxième terme de cette expression, qui est le terme de correction, dépend d'une part, de la résistance moyenne r du conducteur du câble à la température de 24° C et, d'autre part, des quantités n_1 n_2... n_k... t_1 t_2... t_k qui résultent de l'immersion.

Correction relative à la résistance d'isolement du diélectrique.

De même que pour la résistance du cuivre, on détermine, pour chaque bobine d'âme entrant dans la fabrication d'un câble, la résistance d'isolement, par mille marin, à la température bien déterminée de 24° C. Toutes les conditions de ces essais doivent être les mê-

mes, autrement dit, on doit employer une pile d'une force électromotrice donnée (100 ou 200 volts par exemple) et observer la déviation de perte au bout de la même période d'électrification positive ou négative (1 ou 2 minutes). En outre, ils ne doivent être faits pour chaque bobine qu'un certain nombre de jours après sa fabrication. Les résultats de ces essais sont loin d'être aussi concordants que pour le cuivre, car la gutta-percha est rarement homogène (nous ne parlerons pas dans tout ce qui va suivre du caoutchouc qui est beaucoup moins employé comme isolant dans la fabrication des câbles sous-marins). En effet, les matières premières de qualités et même d'espèces différentes arrivent des pays de production absolument mélangées : cependant, en apportant beaucoup de soin dans leur traitement et veillant à ce que les différentes espèces entrent, autant que possible, dans les mêmes proportions, on arrive à obtenir que toute la gutta-percha employée dans la fabrication d'un câble soit à peu près homogène comme composition et comme qualités électriques. Dans tout ce qui va suivre, nous désignerons par i la résistance moyenne d'isolement du mille marin à la température de 24° C.

Le pouvoir isolant de la gutta-percha varie en effet en raison inverse de la température. M. Charles Bright en donne l'explication suivante. Sous l'action d'une diminution de température, la matière se contracte, ses pores se ferment en expulsant une partie de l'eau conductrice qu'elles emprisonnaient, et sa texture devient plus compacte et plus homogène ; une augmentation de température produit exactement le contraire.

La loi de variation du pouvoir isolant, en raison inverse de la température, est une loi exponentielle dont

les constantes diffèrent pour chaque espèce de gutta.

On doit, par suite, déterminer ces constantes, en cours de fabrication de l'âme d'un câble, au moyen de nombreuses observations faites à des températures différentes et bien déterminées sur un certain nombre de bobines d'âme prélevées parmi celles qui doivent entrer dans la composition du câble. Avec l'ensemble des résultats obtenus, et en prenant des moyennes, si tous ceux qui correspondent à une même température ne sont pas absolument concordants, on établit une table de correction dont les divers coefficients servent à ramener à la température de 24° C. tous les essais d'isolement du câble qui doivent être faits à une température quelconque. Les chiffres de cette table sont plus élevés quand elle a été établie pour un câble fait avec de la gutta d'un faible pouvoir isolant, ce qui est probablement dû à ce que, pour cette gutta, les variations de température doivent davantage faciliter l'expulsion ou l'absorption de l'eau qui est la principale matière conductrice étrangère qu'elle renferme. Cette table de correction, uniquement applicable à la gutta particulière pour laquelle elle a été établie, doit être vérifiée aussi souvent que possible, car les qualités électriques de cette substance changent peu à peu à mesure qu'elle vieillit. C'est ainsi qu'il y a intérêt à le faire en mesurant la résistance totale d'isolement de grandes longueurs du câble fabriqué, s'il est conservé un certain temps sous l'eau, en cuve, avant son immersion, et en déduisant du résultat de cette mesure la résistance par mille. Dans ces essais il faut tenir compte que les variations de température de l'eau de la cuve ne se transmettent pas immédiatement à toute la masse du câble.

Aussi n'est-ce que lorsqu'une certaine température a persisté pendant au moins quarante-huit heures que l'on peut vérifier par un essai d'isolement si le chiffre de la table de correction pour cette température est exact. Eu égard à la variation de la qualité de la gutta avec le temps, il serait désirable, à un point de vue théorique absolument strict, de conserver des bobines d'âme pour pouvoir, dans la suite, vérifier, de temps en temps, les chiffres de la table de correction. Cela permettrait, théoriquement, de suivre plus exactement les variations d'isolement du câble dues à la température, car il est possible, sinon probable, que l'ancienneté influe aussi sur le coefficient de variation du pouvoir isolant de la gutta avec la pression dont nous parlerons plus loin.

Si, pour une raison quelconque, on n'a pas pu établir une table de correction pour la gutta particulière employée à la fabrication d'un câble, on peut se contenter de la table qui se trouve à la page 117 du formulaire de Latimer Clark et Robert Sabine et qui se rapporte aux âmes faites avec de la gutta ordinaire dont l'épaisseur n'excède pas 0,11 de pouce, soit $2^{mm},8$ (pouvoir isolant déterminé après une minute d'électrification).

Supposons donc connus les coefficients de correction

$$a_1 \quad a_2 \quad a_3 \; . \; . \; . \; . \; . \quad a_k,$$

correspondant aux diverses températures

$$t_1 \quad t_2 \quad t_3 \; . \; . \; . \; . \; . \quad t_k$$

et provenant soit d'une table particulière, soit de celle du formulaire de Clark et Sabine. Chacun de ces coefficients a été déterminé de telle façon que, pour obtenir

la résistance totale d'isolement d'une section de câble à une certaine température, il suffit de multiplier par le coefficient relatif à cette température, la résistance totale d'isolement de cette section à la température de 24°C. La résistance totale d'isolement à 24°C de la section des n_1 milles de câble qui sont à la température de $t°_1$C étant égale à $\frac{i}{n_1}$, la résistance totale à $t°_1$C sera par suite $\frac{i}{n_1} \times a_1$.

De même, la résistance totale d'isolement à $t°_2$C de la section de n_2 milles de câble sera $\frac{i}{n_2} \times a_2$.

La résistance totale d'isolement I′ de l'ensemble de ces diverses sections de câble, qui sont à des températures différentes, sera, par suite, donnée par la formule

$$\frac{1}{I'} = \frac{1}{\frac{i}{n_1} a_1} + \frac{1}{\frac{i}{n_2} a_2} + \dots + \frac{1}{\frac{i}{n_k} a_k},$$

établie en écrivant que la conductibilité électrique totale de la gutta du câble entier est égale à la somme des conductibilités de chacune des sections n_1, n_2, $n_3 \dots n_k$. On en déduit :

$$\frac{1}{I'} = \frac{1}{i}\left(\frac{n_1}{a_1} + \frac{n_2}{a_2} + \dots + \frac{n_k}{a_k}\right),$$

d'où

$$I' = \frac{i}{\frac{n_1}{a_1} + \frac{n_2}{a_2} + \dots + \frac{n_k}{a_k}}.$$

En désignant par I la résistance totale d'isolement du câble à 24°, on a

$$I = \frac{i}{N},$$

et l'on peut écrire la valeur de I′ sous la forme

$$I' = \frac{NI}{\frac{n_1}{a_1} + \frac{n_2}{a_2} + \dots + \frac{n_k}{a_k}},$$

formule générale, qui peut servir à calculer le tant pour cent de la variation de l'isolement total d'un câble quelconque due aux changements de température produits par l'immersion, connaissant le profil du tracé du câble au point de vue de la température du fond de la mer et la table de correction pour la gutta-percha particulière qui a servi à le fabriquer.

III. — INFLUENCE DE LA PRESSION.

La pression n'exerce pas d'une façon manifeste, comme la température, une double action sur les câbles sous-marins. On peut considérer comme nul son effet sur la résistance du conducteur, mais il n'en est pas de même sur le diélectrique qu'elle affecte de la même façon que la diminution de la température. Aussi a-t-on donné pour ce phénomène la même explication que précédemment. La gutta-percha perd, par compression, une partie de l'eau qui remplissait ses pores, elle devient plus dense et plus homogène ; il en résulte une moins grande perte d'électricité par la surface latérale de l'âme.

Sir W. Siemens, dès 1863, à la suite d'expériences faites sur les âmes des câbles « Malte-Alexandrie, Carthagène-Oran », etc., avait indiqué l'effet de la pression sur le diélectrique et avait énoncé le principe que la résistance d'isolement de la gutta-percha augmente en raison directe avec la pression. Ses expériences,

qui avaient été faites pour des pressions atteignant jusqu'à 4.550 livres anglaises par pouce carré (environ 32 kilogrammes par centimètre carré), l'avaient conduit à la formule :

$$R_p = R(1 + 0{,}00023\,p),$$

dans laquelle

R_p désigne la résistance d'isolement de la gutta-percha ordinaire à la pression de p livres par pouce carré ;
R désigne la résistance d'isolement de la gutta-percha ordinaire à la pression atmosphérique.

Le coefficient 0,00023 établi expérimentalement représente l'augmentation de résistance pour une variation d'une livre de pression.

De leur côté, MM. Bright et Clark, à la même époque, firent des expériences analogues sur l'âme en gutta-percha du premier câble du golfe Persique et trouvèrent 0,00026 au lieu 0,00023, mais la pression maximum dans leurs expériences fut de 600 livres anglaises.

Ces diverses expériences ont été faites sur des âmes et il n'est pas prouvé que l'effet de la pression soit le même sur un câble armé immergé dans les grandes profondeurs de la mer et que l'on soit en droit d'employer le même coefficient. La pression de l'eau peut-elle, même, s'exercer complètement sur l'âme à travers l'armure quelle que soit la profondeur ?

Le diamètre du câble mesuré sur l'armure métallique ne peut plus, en effet, diminuer à partir du moment où tous les fils d'acier sont devenus absolument jointifs et, dans ce cas, la pression de l'eau sur le câble ne se transmet peut-être plus intégralement jusqu'à l'âme.

En tous cas, nous admettons pour le moment que l'on peut appliquer, à un câble armé, immergé à une

profondeur quelconque, le coefficient déterminé par sir W. Siemens. On en déduit que la résistance de la gutta-percha s'accroît de 2,3 p. 100 par 100 livres anglaises de pression par pouce carré, ou de 2,3 p. 100 par $7^k,02$ de pression par centimètre carré, ce qui correspond à une colonne d'eau de mer de $68^m,3$. Il en résulte que pour une colonne de 100 mètres de hauteur l'accroissement du pouvoir isolant de la gutta-percha, sous l'action de la pression exercée par cette eau, est de 3,4 p. 100.

De même que pour les coefficients de variation avec la température, le coefficient de variation du pouvoir isolant de la gutta-percha avec la pression varie avec les diverses guttas et est plus fort pour les espèces de faible pouvoir isolant.

Pour calculer l'effet de la pression sur la résistance totale d'isolement d'un câble immergé, il faut d'abord établir le profil du fond de la mer suivant le tracé du câble. Dans ce but, on détermine comme précédemment sur l'axe OX la position des divers points A, B, C, D... sur les parallèles OY menées par les points A, B, C, D... (*fig.* 14). On porte des longueurs A*a'*, B*b'*, C*c'*,... représentant à l'échelle de OY, graduée en mètres, les profondeurs observées dans chacun des sondages correspondants. En joignant les points *a' b' c'*... par un trait continu, on obtient le profil du fond de la mer suivant le tracé. On utilise cette courbe de la même façon que la courbe *abcd*... de la *fig.* 14, en la divisant en un certain nombre de sections *a' b'*, *b' c'*... qui correspondent à des fonds constants ou de pente régulière. Pour ces derniers, on prend comme profondeur moyenne la moyenne arithmétique des profondeurs représentées par les deux ordonnées qui limitent la sec-

tion. On calcule ensuite, en tenant compte du mou, les longueurs de câble comprises dans chaque section et on arrive ainsi à subdiviser la longueur totale du câble en

n'_1	milles qui sont à la profondeur moyenne		p_1
n'_2	id.	id.	p_2
. . .	. . .	. . .	. . .
n_k	id.	id.	p_k

avec

$$n'_1 + n'_2 + n'_3 + \ldots + n'_k = N.$$

Dans tout ce qui va suivre, nous supposerons, ce qu'il serait utile de vérifier expérimentalement, que les choses se passent comme pour la variation du volume d'un gaz avec la pression et la température et que les effets de la pression de l'eau, et de la variation de température déterminés par l'immersion se superposent exactement, autrement dit que le tant pour cent de variation du pouvoir isolant dû à la pression, pour une section quelconque, doit être calculé d'après le pouvoir de la gutta-percha pour la température du fond dans cette section. Par conséquent, on doit d'abord rapprocher l'un de l'autre les deux profils du tracé par rapport à la température et par rapport à la profondeur, pour voir quelle est la température de n'_1 milles de câble qui sont immergés à la profondeur moyenne p_1.

Si une section ne présente pas une température uniforme de fond, on la subdivise en autant de sections particulières quelle présente de températures différentes, en appelant différentes deux températures qui présentent un écart marqué entre les deux chiffres correspondants de la table de correction.

Supposons donc que, le sectionnement du profil du fond étant effectué d'une façon complète, au double

point de vue de la température et de la pression, nous ayons :

n'_1	milles de câble à la	température moyenne de	$t°_1$ C.	et immergés à la profondeur moyenne de	p_1 mètr.
n'_2	id.	id.	t_2	id.	p_2
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
n'_k	id.	id.	t_k	id.	p_k

La résistance totale d'isolement des n'_1 milles à la température t_1 est, en supposant le câble à la pression atmosphérique,

$$\frac{i}{n'_1} \times a_1,$$

par suite de l'immersion à la profondeur p_1, cette résistance est majorée de 3,4 p. 100 par chaque centaine de mètres de pression d'eau et devient :

$$\frac{i}{n'_1} \times a_1 \left(1 + \frac{3,4}{100} \times \frac{p_1}{100}\right) = \frac{i}{n'_1}\, a_1\, (1 + 0,00034\, p_1).$$

La résistance totale d'isolement de n'_2 milles de câble à la température t_2 et immergés à la profondeur p_2 sera de même :

$$\frac{i}{n'_2} \times a_2 (1 + 0,00034\, p_2), \text{ etc.}$$

La résistance totale d'isolement I″ de l'ensemble des diverses sections de câble, calculée en tenant compte de l'influence de la température et de la pression, sera donnée par la formule :

$$\frac{1}{I''} = \frac{1}{\frac{i}{n'_1} \times a_1 (1 + 0,00034\, p_1)} + \frac{1}{\frac{i}{n'_2} \times a_2 (1 + 0,00034\, p_2)} + \ldots,$$

d'où

$$I'' = \frac{i}{\left[\frac{1}{\frac{a_1}{n_1}(1 + 0,00034\, p_1)} + \frac{1}{\frac{a_2}{n_2}(1 + 0,00034\, p)} + \ldots\right]},$$

que l'on peut écrire d'une façon abrégée

$$(\beta) \qquad I'' = \frac{i}{\sum \left[\frac{n}{a(1 + 0{,}00034\, p)} \right]}.$$

La sommation indiquée au dénominateur étant étendue à toutes les sections du profil des fonds suivant le tracé du câble.

Cette formule, la plus générale que l'on puisse obtenir, réunira les deux genres de correction à faire pour calculer la résistance totale d'isolement du câble dans le cas le plus général.

Si le câble est immergé dans une mer qui n'est pas en communication complète avec les grands océans, à partir d'une certaine profondeur, la température reste constante et dans tous les termes de correction qui contiennent des profondeurs supérieures on peut mettre le coefficient a en facteur commun, il en résulte une notable simplification de la formule, au point de vue du calcul.

Alors que la correction due à la pression a une importance d'autant plus grande que le câble est immergé par des fonds plus considérables, puisque le pouvoir isolant croît proportionnellement à la profondeur, il n'en est pas de même pour la correction relative à la température.

En effet, la température qui décroît très rapidement pour les 1.000 premiers mètres de profondeur varie d'une façon insensible dès que l'on a atteint les fonds de 2.000 mètres ainsi que le montre le tableau ci-dessous établi avec les données de la *fig.* 4 pour la section de l'Atlantique septentrional, comprise entre les Bermudes et les Açores; on y voit que pour une

PROFONDEURS	VARIATION de la profondeur	TEMPÉRATURES	VARIATION de la température	COEFFICIENT de la table du formulaire Clark et Sabine	VARIATION du coefficient
Surface.		21°,1		1.444	
	1.000m		15°,3		9,478
1.000m		5 ,8		10.922	
	1 000		2 ,6		4,056
2.000		3 ,2		14.980	
	1.000		0 ,8		2,124
3.000		2 ,4		17.104	
	1.000		0 ,5		1,170
4.000		1 ,9		18.274	
	1.000		0 ,3		0,671
5.000		1 ,6		18.945	

même profondeur la valeur de la correction, loin d'être constante comme pour la correction relative à la pression, décroit au contraire à mesure que la profondeur augmente.

La température et la pression de l'eau affectent la capacité électrostatique d'un câble sous-marin, évidemment en sens inverse des altérations qu'elles font éprouver au diélectrique, puisque la résistance d'isolement et la capacité varient en raison inverse l'une de l'autre.

C'est ainsi que la capacité d'un câble immergé dans les eaux profondes et froides de l'Océan est plus faible que celle qu'il avait avant l'immersion. Cependant cette diminution de capacité ne correspond à l'augmentation de la résistance d'isolement et devrait être plus grande qu'on ne l'observe.

Cette particularité doit tenir à ce que la contraction qu'éprouve la gutta-percha sous l'action du froid et de la pression diminue par suite l'épaisseur de la couche du diélectrique qui sépare les deux armatures du con-

densateur que constitue l'âme d'un câble sous-marin, et

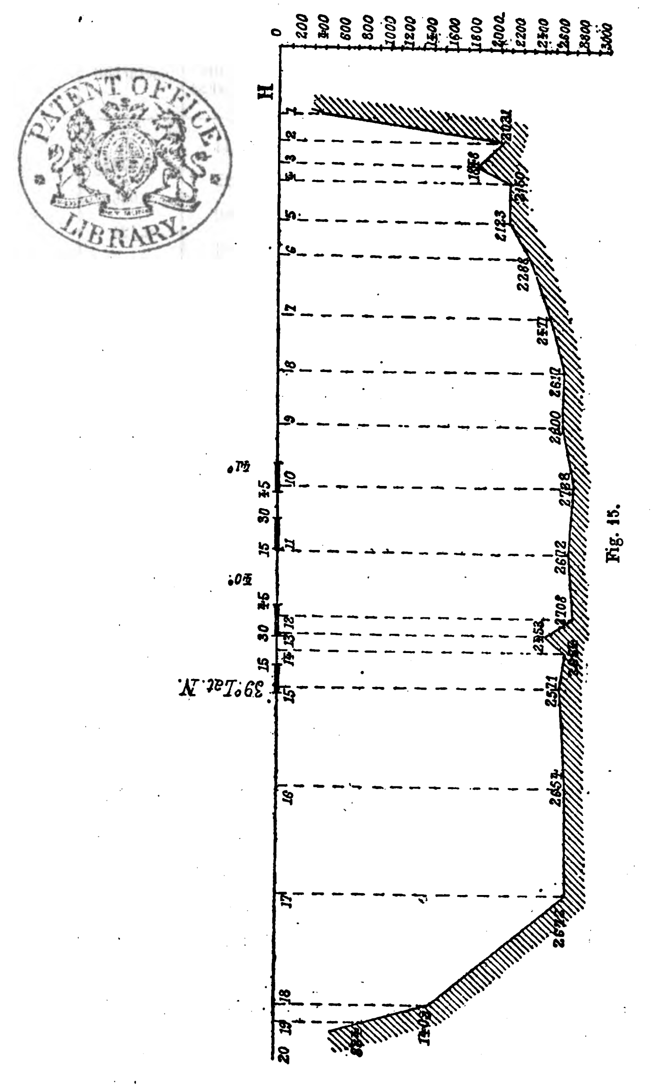


Fig. 15.

il en résulte une augmentation de capacité. Cette

augmentation compense partiellement la diminution due à la température et à la pression.

Nous remarquerons enfin que les diminutions de capacité électrostatique et de résistance du conducteur qui résultent de l'immersion dans des eaux froides et profondes rendent un câble sous-marin capable d'un meilleur rendement, car, comme on le sait, la vitesse de transmission varie en raison inverse du produit de la résistance totale par la capacité totale du câble immergé.

APPLICATION.

Nous appliquons les formules précédentes à l'un des trois câbles qui relient télégraphiquement Marseille à Alger, celui qui a été immergé en 1880. Les *fig.* 14, 15, 16 montrent les profils, suivant le tracé, établis au point de vue des variations de température et de profondeur. La *fig.* 15, relative à la partie principale du câble, ne comporte qu'un profil, puisque pour les profondeurs supérieures à environ 200 mètres la température de la Méditerranée est constante (12°,8 C.). Il en résulte une notable simplification des calculs pour toutes les sections de câble qui sont à cette température. Le tableau suivant n'en correspond pas moins à une application générale des formules (α) et (β), car les atterrissements comportent une série de sections différant entre elles et par la température et par la profondeur.

SECTIONS	NOMBRE de milles marins de câble immergé dans la section (n)	TEMPÉRATURE moyenne de la section en degrés centigrad. (t)	VALEUR du produit $n \times t$ ($n \times t$)	COEFFICIENT de variation du pouvoir isolant de la gutta-percha avec la température (a)	PROFONDEUR moyenne de la section en mètres (p)	VALEUR de l'expression $\frac{n}{a(1+0{,}0003\,p)}$
	milles	degrés			mètres	
O - A_1	0,75	26.3	19,725	0,7684	7	0,9867
A_1 - A	0,50	22,5	11,250	1,193	18	0,0441
A - B	2,25	20,2	45,450	1,625	30	1,3706
B - C_1	0,75	19,1	14,325	1,869	49	0,3947
C_1 - C	0,50	18,0	9,000	2,165	58	0,2265
C - D	3,00	17,1	51,300	2,447	73	1,1963
D - E	0,75	16,1	12,075	2,800	83	0,2605
E - F	1,25	15,1	18,875	3,198	100	0,3780
F - G	8,00	14,6	116,800	3,410	110	2,2611
G - H	1.50	13,7	20,550	3,815	120	0,3777
H - 1	5,61	12,8		4,301	340	1,1692
1 - 2	11,60	12,8		4,301	1.290	1,8737
2 - 3	12,98	12,8		4,301	1.940	1,8184
3 - 4	7,15	12,8		4,301	2.000	0,9897
4 - 5	20,20	12.8		4,301	2.137	2.7246
5 - 6	15,25	12,8		4,301	2.206	2,0287
6 - 7	30,45	12,8		4,301	2.880	3,8738
7 - 8	26,40	12,8		4,301	2.544	3,2938
8 - 9	26,00	12,8		4,301	2.608	3,2090
9 - 10	29,70	12,8		4,301	2.661	3,6255
10 - 11	30,40	12,8	5.876,224	4,301	2.700	3,6857
11 - 12	32,70	12,8		4,301	2.690	3,9713
12 - 13	10,50	12.8		4.301	2.580	1,2992
13 - 14	13,50	12,8		4,301	2.554	1,6816
14 - 15	20,35	12,8		4,301	2.613	2,5067
15 - 16	47,00	12,8		4,301	2.613	5,7896
16 - 17	50,50	12.8		4,301	2,663	6,1633
17 - 18	54.40	12,8		4,301	2.040	7,4673
18 - 19	13,20	12,8		4,301	1.117	2,2259
19 - 20	0,74	12,8		4,301	610	0,1426
20 - 21	0,75	12,8		4,301	300	0,1583
21 - J	0,50	15,1	7,550	3,198	120	0,1502
J - K	2.50	16,8	50,400	2,540	69	0,9615
K - L	0,50	16,8			69	0,1923
L - M	1,75	17,1	47,025	2,447	64	0,7000
M - N	1,00	17,1			64	0.4000
N - P	1,90	18,5	35,150	2,026	43	0,9243
P - Q	0,90	20,2	18,180	1,625	27	0,5487
Q - R	0,40	24,3	9,720	0,9515	11	0,4188
Marseille Alger	= 487m,78		6.368,599			71,4899

A. *correction relative à la résistance du conducteur.* — La longueur du câble est de 487 milles 78, comprenant 25 milles de câbles d'atterrissement et 462 milles 78 de câble de grand fond.

Les essais effectués avant l'immersion ont donné

pour la résistance moyenne du conducteur par mille à 24° C. :

Atterrissements	$11^{\omega},13$
Grand fond	$11\ ,18$

on en déduit pour la résistance moyenne par mille à 24° du câble entier

$$r = \frac{25 \times 11,13 + 462,78 \times 11,18}{487,78} = 11^{\omega},177.$$

D'autre part $\sum_0^R nt$, donné par le total des nombres inscrits dans la 4e colonne du tableau, a pour valeur 6.363,599.

On a donc, en appliquant la formule (α) :

$$R' = 11,177 \times 487,78 + 0,0038 \times 11,177 \times (6363,599 - 24 \times 487,78$$
$$= 5451,92 - 227,08 = 5224^{\omega},84.$$

Les résultats des mesures de la résistance du conducteur, qui ont été faites immédiatement après la pose, sont :

Moyenne des mesures par le pont de Wheatstone faites avec le courant.	positif .	$5178^{\omega},0$
	négatif.	$5261\ ,8$
Moyenne générale.		$5220^{\omega},0$

On voit qu'il n'y a qu'une différence de $4^{\omega},84$ entre le résultat calculé et le résultat observé. Cette différence doit tenir à plusieurs petites erreurs :

1° Répartition faite aussi exacte que possible, mais cependant approximative, des longueurs de câble comprises dans chacune des sections des atterrissements ;

2° Connaissance insuffisante de la répartition des températures entre la surface et la couche qui est à la température de 12°,8 ;

3° Léger doute sur la longueur exacte du câble, qui serait peut-être inférieure de 0^{mille},16 à la longueur adoptée plus haut; l'erreur seule provenant de ce dernier chef serait de près de 2 ohms.

B. *Correction relative à la résistance d'isolement du diélectrique.* — Si le calcul permet de retrouver presque exactement la résistance du conducteur, fournie par les mesures faites après la pose, on ne doit pas s'attendre à obtenir une pareille précision en ce qui concerne la résistance du diélectrique, car, comme nous l'avons dit précédemment, les coefficients de correction relatifs à la température et à la pression sont beaucoup plus difficiles à déterminer que celui de la variation de la résistance du cuivre avec la température; d'autre part, ils ne sont pas constants comme ce dernier et varient avec chaque gutta. Mais la différence considérable que nous allons trouver entre la résistance du diélectrique calculée et la résistance observée prouve que le coefficient de variation de la résistance d'isolement avec la pression déterminé par les expériences de MM. Siemens et Bright, en 1863, n'est pas exact, ou bien que la résistance du diélectrique ne croît pas proportionnellement à la pression.

Les essais d'isolement effectués sur le câble avant son immersion ont donné les résultats suivants :

Pour les 25 milles de câbles d'atterrissement. . .	Pile d'essai, 100 éléments Leclanché, moyenne des isolements obtenus avec les courants positif et négatif après 1 minute d'électrification	66Ω,75
	Température de l'essai.	19°,4 C.
	Isolement moyen par mille ramené à 24° C.	926Ω
Pour les 462,78 milles de câble de grand fond (l'essai a été fait sur une section de 550 milles). . . .	Pile d'essai, 100 éléments Leclanché, moyenne des isolements obtenus avec les courants positif et négatif après 1 minute d'électrification.	2Ω,315
	Température de l'essai	18°,3 C.
	Isolement moyen par mille ramené à 24° C.	624Ω

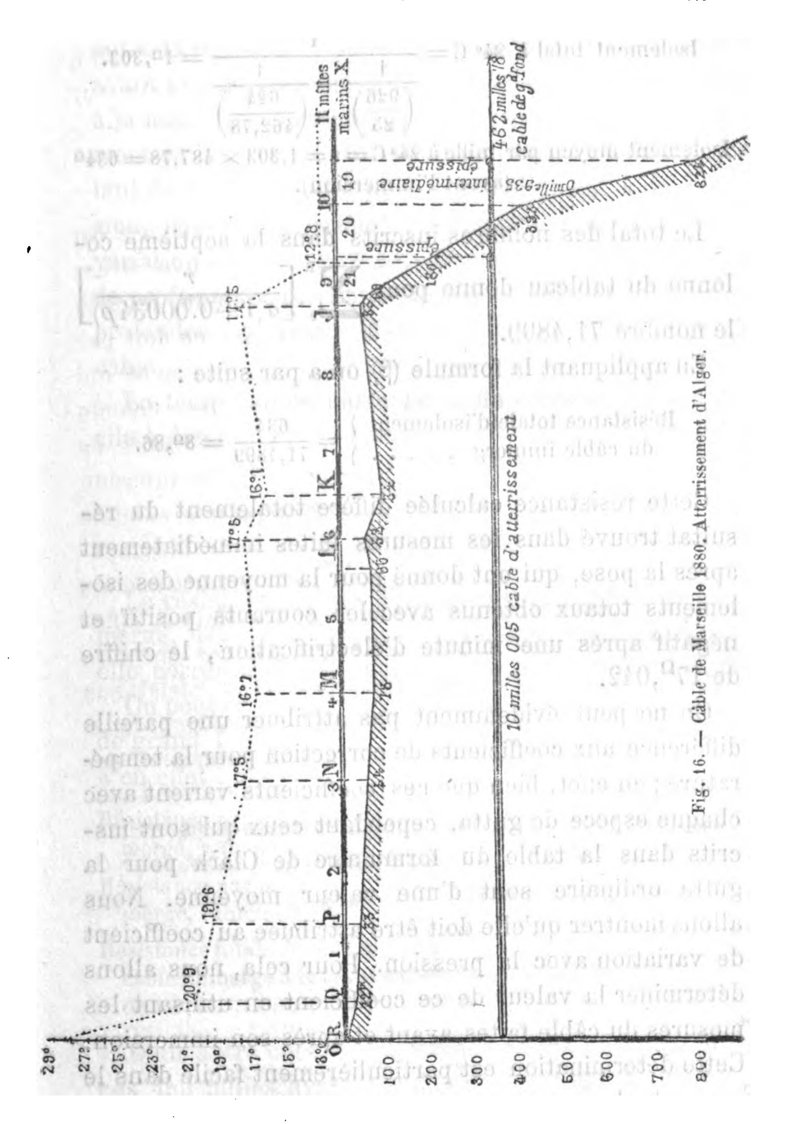


Fig. 16. — Câble de Marseille 1880. Atterrissement d'Alger.

On en déduit pour l'isolement total du câble ($25 + 462,78 = 487^m,78$) à 24° C.

$$\text{Isolement total à } 24^\circ \text{ C} = \frac{1}{\dfrac{1}{\left(\dfrac{926}{25}\right)} + \dfrac{1}{\left(\dfrac{624}{462,78}\right)}} = 1^\Omega,303.$$

$$\text{Isolement moyen par mille à } 24^\circ \text{ C} = i = 1,303 \times 487,78 = 634^\Omega$$
(avant l'immersion).

Le total des nombres inscrits dans la septième colonne du tableau donne pour $\sum_0^R \left[\frac{r}{a(1+0.00034p)}\right]$ le nombre 71,4899.

En appliquant la formule (β) on a par suite :

$$\left.\begin{array}{r}\text{Résistance totale d'isolement} \\ \text{du câble immergé . . . . .}\end{array}\right\} = \frac{634}{71,4899} = 8^\Omega,86.$$

Cette résistance calculée diffère totalement du résultat trouvé dans les mesures faites immédiatement après la pose, qui ont donné pour la moyenne des isolements totaux obtenus avec les courants positif et négatif après une minute d'électrification, le chiffre de $17^\Omega,042$.

On ne peut évidemment pas attribuer une pareille différence aux coefficients de correction pour la température ; en effet, bien que ces coefficients varient avec chaque espèce de gutta, cependant ceux qui sont inscrits dans la table du formulaire de Clark pour la gutta ordinaire sont d'une valeur moyenne. Nous allons montrer qu'elle doit être attribuée au coefficient de variation avec la pression. Pour cela, nous allons déterminer la valeur de ce coefficient en utilisant les mesures du câble faites avant et après son immersion. Cette détermination est particulièrement facile dans le cas actuel, parce que la majeure partie du câble (459 milles) est immergée dans de l'eau à la température constante de 12°,8 C; par suite, la différence *d*

entre la résistance totale d'isolement de ces 459 milles avant la pose ramenée à 12°,8, et leur résistance totale à la même température, après la pose, dépend uniquement de la pression. En admettant que le pouvoir isolant de la gutta varie proportionnellement à la pression, nous emploierons la différence d à calculer la variation de résistance par chaque centaine de mètres de profondeur. Il nous suffira pour cela de calculer la profondeur moyenne d'immersion des 459 milles de câble.

La température moyenne t_m du câble entier est facile à déterminer, car on a :

$$t_m = \frac{\sum_0^R nt}{\sum_0^R n} = \frac{6363,60}{487,78} = 13°,05\ \text{C}.$$

La résistance totale d'isolement du câble entier immergé, déterminé expérimentalement, est de $17^{\Omega},042$, elle correspond à la température moyenne de 13°,05.

On peut en déduire la résistance totale des 459 milles de grand fond qui sont à la température de 12°,8, on a en effet :

Résistance par mille du câble immergé, ramené à 24° C.	$\frac{17,042 \times 487,78}{4,198} = 1980^{\Omega},17$
Résistance par mille du câble immergé, ramené à 12°,8	$1980,17 \times 4,301 = 8516^{\Omega},72$
Résistance totale des 459 milles de câble immergé à la température de 12°,8	$\frac{8516,72}{459} = 18^{\Omega},555$

D'un autre côté, la résistance totale d'isolement de ces 459 milles avant l'immersion ramené à 12°,8 est égale à :

$$\frac{624}{459} \times 4,301 = 5^{\Omega},847.$$

L'augmentation de résistance due à la pression de l'eau sur le câble immergé est donc :

$$d = 18,555 - 5,847 = 12^{\Omega},708.$$

Quant à la profondeur moyenne p_m d'immersion de ces 459 milles, elle est donnée par l'expression :

$$p_m = \frac{\sum_{1}^{21} n.p}{\sum_{1}^{21} n} = \frac{106.141}{459} = 2.312 \text{ mètres.}$$

En transportant les résultats précédents dans la formule

$$\gamma = \frac{R_p - R}{R \times p},$$

déduite de l'expression

$$R_p = R(1 + \gamma \times p),$$

dans laquelle γ désigne le coefficient de variation de la résistance d'isolement par cent mètres de profondeur, on a :

$$\gamma = \frac{18,555 - 5,847}{5,847 \times 2312} = 0,00094006.$$

Ainsi, l'accroissement de la résistance d'isolement par chaque centaine de mètres de profondeur serait de 9,4 p. 100 au lieu de 3,4 déterminé par les expériences de MM. Siemens et Bright.

Il serait intéressant de calculer ce coefficient au moyen des données de chacun des câbles qui ont été immergés dans la Méditerranée (puisque la température des grands fonds est constante) afin de voir si on trouverait par ces calculs des nombres suffisamment concordants dont la moyenne pourrait être adoptée comme coefficient de variation de la résistance d'iso-

lement de la gutta ordinaire sous l'action de la pression. La connaissance de ce coefficient présente, en effet, un intérêt pratique capital, car elle permettrait de prévoir d'une façon approchée la résistance totale d'isolement que l'on doit trouver pour un câble après son immersion si cette opération ne l'a pas altéré ; elle permettrait aussi de mieux fixer les clauses d'un cahier des charges pour l'établissement d'une ligne télégraphique sous-marine.

Si les résultats de ces calculs pour des câbles de même fabrication, mais posés dans des régions de profondeurs moyennes très différentes, présentaient des différences capitales, il y aurait alors lieu de s'inquiéter de la vérification de la loi de l'accroissement de résistance en raison directe de l'accroissement de pression.

A. DERIES.



RELEVÉ
DES LIGNES ET RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

D'ÉCLAIRAGE OU DE TRANSPORT DE FORCE

EXISTANT AU 31 DÉCEMBRE 1888

Le tableau suivant fait connaître l'état des lignes électriques d'éclairage ou de transport de force en exploitation ou en construction dans les départements à la date du 31 décembre 1888. Il comprend les installations soumises à la déclaration préalable et au contrôle de l'administration par le décret du 15 mai de la même année (*).

Il existe, en outre, un grand nombre de lignes de l'espèce, établies dans l'intérieur de propriétés privées, établissements industriels, gares de chemins de fer, etc. Celles-ci ne figurent pas dans le tableau parce qu'elles rentrent dans le cas prévu par l'article 2 du décret susmentionné, la force électromotrice ne dépassant pas les limites réglementaires (60 volts pour les courants alternatifs et 500 pour les courants non alternatifs).

L'intensité maxima du courant par millimètre carré de section dans les conducteurs est d'environ 2 à 3 ampères.

En général, les installations dont il s'agit, par suite de l'emploi de deux fils parallèles et très voisins pour l'aller et le retour du courant, ne troublent en rien le fonctionnement des lignes télégraphiques ou téléphoniques environnantes. Certaines distributions sont toutefois à trois conducteurs; mais en tous points de la ligne, le courant total dans un sens est égal au courant

(*) *Bulletin mensuel des postes et des télégraphes*, 1888, p. 122 et suivantes. — *Journal officiel* du 16 juin 1888.

total en sens inverse, pour l'ensemble des trois conducteurs ; de telle sorte que leur effet à distance est négligeable.

Il y a lieu d'ajouter que dans le cas où il est fait usage de courants alternatifs, des précautions spéciales sont toujours prises pour éviter l'induction à distance.

Il est à remarquer que, dans plusieurs installations, on a employé le système de la boucle, dans lequel les courants traversant les deux conducteurs sont de même sens, et par conséquent ajoutent leurs effets au point de vue de l'induction. Tel est le cas du réseau d'éclairage établi dans un groupe de maisons au centre de la ville d'Angoulême (*). Ce système, au début, produisait une induction sensible sur les fils téléphoniques voisins jusqu'à 80 mètres de distance; il paraît devoir être écarté absolument dans le cas où des fils destinés à la correspondance seraient situés à proximité du réseau.

Jusqu'ici on n'a eu à signaler aucun coup de foudre dans les lignes électriques en question ; elles sont d'ailleurs protégées en général par des paratonnerres spéciaux.

H. PELLETIER.

Il n'existe pas (31 décembre 1888), d'éclairage électrique ou de transport de force dont l'installation soit soumise au contrôle de l'administration, dans les départements suivants.

Aisne,	Côtes-du-Nord,	Jura,	Pyrénées-Orient.
Hautes-Alpes,	Doubs,	Landes,	Haute-Saône.
Alpes-Maritimes,	Eure,	Haute-Loire,	Seine-et-Marne,
Cantal,	Gard,	Lot,	Tarn-et-Garonne.
Cher,	Gers,	Manche,	Vienne.
Corrèze,	Hérault,	Mayenne,	Haute-Vienne.
Corse,	Indre,	Morbihan,	

Constantine, | Oran.

(*) Voir page 266.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Ain	Pont-de-Vaux.	Réseau urbain d'éclairage.	2 moteurs à vapeur de 25 chevaux.	2 dynamos de 25 chevaux.
	Bellegarde.	Réseau urbain d'éclairage et de transport de force.	3 turbines de 20, 50, 70 chevaux.	4 dynamos.
	Culoz.	Réseau urbain d'éclairage.	2 turbines de 40 chevaux.	4 dynamos de 20 chevaux.
	Tenay.	Réseau urbain d'éclairage et de transport de force.	3 turbines de 120 chevaux	2 dynamos de 40 chevaux.
	Lagnieu.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo de 300 lampes.
Allier.	Montluçon.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 55 chevaux.	Dynamo Edison.
Basses-Alpes.	Manosque.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 50 chevaux.	Dynamo de 225 ampères.
Ardèche	Annonay.	Ligne d'éclairage reliant les usines de Faya et de Marmaty.	Turbine de 60 chevaux.	Dynamo.
	Bourg-Saint-Andéol.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 40 chevaux.	Dynamo de 500 ampères.
	Viviers.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 40 chevaux.	Dynamo de 300 ampères ; 2 batteries d'accumulateurs de 53 éléments chacune.
Ardennes.	Rethel.	Réseau urbain d'éclairage.	2 machines à vapeur de 60 chevaux.	Dynamo de 112,000 watts.
	Mouzon.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 40 chevaux.	Dynamo de 112 ampères.
Ariège	Ax.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 50 chevaux.	Dynamo de 1.500 watts.
Aube	Aix-en-Othe.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 8 chevaux.	Dynamo 40 ampères.

(1) C, générateurs à courant continu ; A, générateur à courant alternatif.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs (1)	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 130 volts.	Lampes à incandescence.	Rondelles de porcelaine.	Isolement gutta et coton.	Plus de 3 mètres, petite longueur.
C. 130 volts.	Lampes à incandescence et à arcs moteurs.	Rondelles de porcelaine.	Fils isolés à l'intérieur des immeubles.	Pas de fils télégraphiques dans le voisinage.
C. 130 volts.	Lampes à incandescence.	Rondelles de porcelaine.	Isolement gutta et coton.	Pas de ligne dans le voisinage.
C. 130 volts.	Lampes à incandescence.	Rondelles de porcelaine.	Isolement gutta et coton.	4 mètres sur une faible longueur.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Poulies en porcelaine.	»	A très grande distance, excepté sur un point où le fil de lumière passe à 2 mètres d'une ligne télégraphique.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	Distance de 2 mètres au croisement de la ligne télégraphique.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Fils posés sur isolateur.	»	Croisent les lignes télégraphiques sur un seul point; en sont distants de 2 mètres, et constitués en câbles recouverts d'enveloppes goudronnées.
C. 105 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	»
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 2 mètr. — Conducteurs recouverts de gutta-percha ou de toile paraffinée.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 2 mètres. — Conducteurs recouverts d'une enveloppe isolante.
A. 2.400 volts, 100 renversem^{ts} par seconde. Transformateurs : 100 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 2 mètres des autres lignes.
C. 150 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Les fils sont isolés lorsqu'ils sont à portée de la main.	A 2^m,20 des autres lignes; dans ce cas le fil d'éclairage est isolé.
C. 115 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 2 mètres.
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Fils recouverts de plusieurs enveloppes isolantes.	Ligne télégraphique coupée transversalement. — Distance de 2^m,50 des points d'intersection.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Aube...... (Suite.)	Aix-en-Othe.	Usine centrale distribuant à domicile la force motrice et la lumière électrique dans la banlieue.	Machine à vapeur de 10 chevaux.	Dynamo.
	Bossancourt.	Ligne d'éclairage électrique distribuant la lumière dans divers points de la commune.	Turbine de 15 chevaux.	Dynamo.
	Courteron.	Ligne d'éclairage reliant le moulin à divers points du village.	Roue à palettes (6 chevaux).	Dynamo.
Aude......	Carcassonne.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation à une usine.	Machine à vapeur de 6 chevaux.	Dynamo. 30 accumulateurs.
Aveyron....	Espalion.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine.	Dynamo de 22.500 watts.
Bes-du-Rhône.	Lambesc.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Turbine de 10 chev.	Dynamo.
	Pélissane.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Turbine de 20 chev.	Dynamo.
	Barbentane.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Roue hydraulique de 7 chevaux.	Dynamo.
	Roquevaire.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Roue hydraulique de 15 chevaux.	Dynamo.
	Saint-Rémy.	Eclairage d'une usine (en construction).	Force prise sur le moteur de l'usine.	Bréguet.
	Marseille.	Eclairage d'une huilerie (en construction).	Machine à vapeur de 12 chevaux.	Dynamo.
	Marseille.	Eclairage d'une raffinerie (en construction).	Force prise sur le moteur de l'usine.	Dynamo.
	Marseille.	Eclairage du Petit-Cercle et du Cercle Pujet (en construction).	Machine à vapeur de 20 chevaux.	Dynamo.
Calvados....	Honfleur.	Eclairage de la nouvelle route sur le port.	Machine à vapeur de 20 chevaux.	Dynamo de 8 ampères.
	Thury-Harcourt.	Ligne d'éclairage reliant un château à un moulin.	Chute d'eau du moulin.	Dynamo.
	Thury-Harcourt.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation à un moulin.	Chute d'eau.	Dynamo.
Charente....	Angoulême.	Réseau d'éclairage installé dans un groupe de maisons, au centre de la ville.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo.
Charente-Infér.	La Rochelle.	Ligne d'éclairage reliant le théâtre et l'hôtel de ville à l'usine du Champ de Mars.	Machine à vapeur.	Machine Gramme.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES		DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines.
		POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	AUX POINTS les plus dangereux	
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Fils recouverts de plusieurs enveloppes isolantes.	Ligne télégraphique coupée transversalement. — Distance de $2^m,50$ des points d'intersection.
C. 60 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Ligne télégraphique coupée transversalement. — Distance de 3 mètres des points d'intersection.
C. 125 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Aucune autre ligne dans le village.
C. 40 volts.	Lampes Edison.	Enveloppes isolantes.	»	Environ 5 mètres d'une ligne téléphonique.
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs à arrêts.	»	Croisent la ligne télégraphique sur trois points. Distance de $0^m,80$.
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 110 volts.	Lampes et accumulateurs.	Isolateurs en porcelaine.	»	Enveloppe isolante au point de croisement avec une ligne télégraphique.
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.	»	Enveloppe isolante au point de croisement d'une ligne télégraphique.
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 110 volts.	Lampes Swann.	Isolateurs en porcelaine.		
C. 750 volts.	10 lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	»	10 mètres.
C. 55 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	7 à 8 mètres des fils télégraphiques.
C. 110 volts.	Lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	»	Pas de lignes télégraphiques dans les environs.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 1 à 3 mètres des lignes téléphoniques voisines.
C. 300 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	4 mètres au-dessus des points de croisement des réseaux télégraphiques.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Côte-d'Or. . . .	Dijon.	Réseau urbain d'éclairage.	2 Earliss couplées (200 chevaux).	3 Edisons de 20[illegible] ampères chacune.
Creuse	Bourganeuf.	Réseau urbain d'éclairage alimenté par une ligne de transport de force de 14 kilomèt. de Bourganeuf à Saint-Martin-Château.	Turbine de 140 chevaux.	Dynamo de 130 chevaux.
Dordogne. . . .	Périgueux.	Réseau urbain d'éclairage.	2 machines à vapeur de 50 chevaux.	Dynamo de 1.200 ampères.
	Terrasson.	Eclairage des dépendances d'une minoterie.	1 turbine de 20 chevaux.—3 turbines de 5 chevaux chacune.	Dynamo de 500 ampères.
Drôme.	Dieu-le-Fit.	Ligne d'éclairage reliant Dieu-le-Fit à l'usine de Béconne. (4 kilomèt.)	1 turbine de 50 chevaux.	1 machine de 24.0[illegible] watts.
Eure-et-Loir . .	Voves.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation à une sucrerie.	Machine à vapeur.	Machine Gramme de 2.000 bougies.
	Cloyes.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation à un moulin.	Roue à palettes.	Dynamo de 60 ampères.
Finistère. . . .	Châteaulin.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 35 chev.	Dynamo.
Hte-Garonne . .	Grenade.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 24 chev.	Dynamo de 200 ampères.
	Toulouse.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 80 chev.	Dynamo de 77.0[illegible] watts.
	Toulouse.	Eclairage du théâtre du Capitole.	2 machines à vapeur de 100 chevaux chacune.	Dynamo.
Gironde.	Bordeaux.	Eclairage électrique des entrepôts maritimes, entre le quai de Lormont et les estacades.	Machine à vapeur de 15 chevaux.	2 dynamos : l'un [illegible] 80 ampères, l'autre de 40 ampères
	Bordeaux.	Eclairage d'un quartier de la ville.	Machine à condensation de 150 chevaux.	Machine de 800 ampères.
	Bordeaux.	Ligne d'éclairage allant de l'Alhambra au portique de la rue Judaïque.	Machine à vapeur de 30 chevaux.	Dynamo de 180 ampères.
	La Réole.	Transport de force du moulin de Cardoit à la Grande-Rue.	Barrage du moulin, force de 2 à 3 chevaux.	Dynamo.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs.	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 110 volts.	Lampes Swann et lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 1m,50.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Fils recouverts à tous les croisements.		
C. 200 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Manchons en caoutchouc.	Distance de 12 mètres.
C. 108 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Manchons en caoutchouc.	200 mètres.
2.000 volts, 100 renversem^ts par seconde. Transformateur, 105 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs à double cloche.	»	Distance de 3 mètres. — Ruban caoutchouté aux points de croisement.
C. 53 volts.	Lampes à incandescence.	Enveloppes de gutta-percha et de coton.	»	Distance de 16 mètres.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Câble avec rubans caoutchoutés et tresse enduite par-dessus.	»	A 500 mètres de la ligne télégraphique municipale.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	Distance de 35 mètres.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 4m,70 environ.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Poulies en porcelaine.	»	Distance de 8 mètres.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Câbles souterrains.		
Ensemble, 166 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Poteaux en bois avec isolateurs. Sous l'estacade, circuit constitué par des câbles.	»	A 3 mètres de la ligne téléphonique. Les fils recouverts d'enveloppes isolantes aux points de croisement.
C. 115 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Fils recouverts.	Enveloppes isolantes aux points de croisement.
C. 110 volts.	Lampes à arc.	Isolés et caoutchoutés.	»	A 10 mètres des lignes voisines.
C. 200 volts.	Lampes à arc.	»	»	De 6 à 7 mètres au-dessus de la ligne télégraphique.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE	
			MÉCANIQUE du moteur	ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Ille-et-Vilaine.	Rennes.	Eclairage de l'atelier de construction de l'artillerie.	2 machines à vapeur de 40 et 60 chevaux.	3 dynamos : une d 23 chev., les deu autres de 16 ; — 1 dynamo à courant alternatif d 8 chevaux.
Indre-et-Loire.	Tours.	Réseau urbain d'éclairage.	Machines à vapeur de 100 à 150 chevaux.	Dynamo.
Isère	Grenoble.	Transport de force reliant la ville à l'usine du Mas-des-Pourettes (en construction).	2 turbines d'ensemble, 140 chevaux.	2 machines de 24.000 watts chacune.
Isère	Domène.	Transport de force reliant les chutes du Doménon à une usine (en construction).	Turbine de 250 chevaux.	Dynamo de 190.00 watts.
Isère	Beaurepaire.	Eclairage public et privé.	Locomobile de 10 chevaux.	Dynamo de 8.50 watts.
Isère	Pont-de-Claix.	Eclairage public et privé.	Turbine de 10 chevaux.	Dynamo de 4.50 watts.
Isère	Tullins.	Usines et habitations privées.	Roue hydraulique de 10 chevaux.	2 dynamos de 4.40 watts chacune.
Isère	Claix.	Réseau urbain d'éclairage.	Roue hydraulique de 10 chevaux.	Dynamo.
Isère	Pontcharra.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 9 chevaux.	Dynamo de 8.25 watts.
Isère	Le Grand-Lemps.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 17 chevaux.	Dynamo de 7.00 watts.
Isère	Villars-de-Lans.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 18 chevaux.	Dynamo de 7.50 watts.
Isère	Vizille.	Eclairage particulier le long de routes nationales.	Roue hydraulique de 30 chevaux.	Dynamo de 16.5 watts.
Isère	Bourgoin.	Ligne d'éclairage reliant des moulins à des bureaux.	Turbine de 10 chevaux.	Dynamo de 3.0 watts.
Isère	Rives.	Ligne d'éclairage reliant des papeteries à la grande usine et à l'usine de la Liampre. (Deux circuits.)	Turbine de 55 chevaux.	2 machines de 22.0 watts chacune.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. Deux de 140 volts chaque; une de 110 volts. A. 350 volts. Pas de transformateur.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de $1^m,50$. — Câbles isolés aux points de croisement.
A. 2.500 volts. Transformateur, 52 volts.	Lampes à incandescence.	Câbles isolés par des couches de caoutchouc.	Lignes souterraines pour la plupart; les autres passant au-dessus des maisons.	Distance de 2 mètres.
A. 2.000 volts. Transformateurs, 105 volts. 100 renversements.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs à double cloche.	»	A 3 mètres d'une ligne téléphonique. — Enveloppe isolante aux points de croisement.
C. 3.000 volts.	»	Isolateurs à double cloche.	Fils aériens recouverts à la traversée d'une route départementale.	Distance de 6 mètres du fil télégraphique municipal.
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 1 mètre environ.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	Pas de lignes télégraphiques voisines.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	»	Fils recouverts aux traversées des routes.	Ligne téléphonique d'intérêt privé, commune sur 1 kilomètre; écartement $0^m,50$ des fils de lumière.
C. 55 volts.	Lampes à incandescence.	Fils aériens.	»	Pas de lignes télégraphiques dans le voisinage.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 1 mètre du fil télégraphique municipal. — Enveloppe isolante aux croisements
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 2 mètres des fils télégraphiques voisins. Enveloppe isolante aux points de croisement.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs à cloche.	»	Distance de 2 mètres du fil télégraphique municipal. Enveloppe isolante aux points de croisement.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs poulies.	»	Distance d'un mètre des lignes télégraphiques de Grenoble.
C. 65 volts.	Lampes à incandescence.	Fils sur isolateurs.	»	Pas de lignes à proximité.
C. 220 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en rubans caoutchoutés.	»	Au pont de la Fure, le circuit de lumière croise à $10^m,20$ une ligne aérienne, et à $2^m,60$ une ligne souterraine.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Isère . . . . . . (*Suite*.)	Rives.	Ligne d'éclairage reliant des papeteries à l'usine du Gua.	Turbine de 55 chevaux.	Machine de 16.000 watts.
Loir-et-Cher . .	Saint-Aignan.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 35 à 40 chevaux.	Dynamo de 375 ampères.
Loire	Saint-Etienne.	Réseau urbain d'éclairage.	4 machines à vapeur de 160 chevaux.	7 dynamos de 400 ampères.
	Saint-Chamond.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 12 chevaux.	Dynamo de 200 ampères.
Loire-Infér. . .	Nantes.	Eclairage des ateliers et chantiers de la Loire.	Machine à vapeur de 40 chevaux.	Dynamo de 2.000 watts.
	Saint-Nazaire.	Eclairage des ateliers de la compagnie générale transatlantique.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo de 3.500 watts.
Loiret.	Orléans.	Eclairage du grand café et de l'hôtel de la Boule-d'Or.	Machine à vapeur de 8 à 9 chevaux.	Dynamo de 80 ampères.
Lot-et-Garonne.	Agen.	Ligne d'éclairage reliant un laboratoire à des magasins.	Machine à vapeur de 12 chevaux.	Dynamo.
Lozère	Mende.	Réseau urbain d'éclairage.	2 machines à vapeur de 120 chevaux chacune.	2 dynamos de 750 ampères.
Maine-et-Loire.	Pouancé.	Ligne d'éclairage reliant des moulins à une maison d'habitation.	Moteur hydraulique et 2 machines à vapeur.	Dynamo de 40 ampères.
Marne.	Reims.	Usine distribuant la lumière à domicile et au théâtre.	2 machines à gaz de 50 chevaux chacune.	2 dynamos de 75 ampères chacune.
Haute-Marne. .	Saint-Dizier . . .	Eclairage dans l'intérieur de la propriété des Forges de Champagne (Manarval).	Machine à vapeur de 8 chevaux.	Machine de 10 ampères.
Meurt.-et-Mos.	Saint-Nicolas-du-Port, Varengéville.	Ligne d'éclairage reliant des maisons d'habitation et des usines situées à Saint-Nicolas, à la filature de Varengeville.	Turbine de 25 chevaux.	Dynamo de 75 ampères.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
A. 1.000 volts. 100 inversions. Transformateur. 980 volts aux bornes primaires; 105 volts aux bornes secondaires.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Dans l'intérieur de l'usine, les conducteurs sont placés dans des linteaux en bois.	
C. 110 ampères.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Câble recouvert de gutta-percha et de coton aux points de croisement.
C. 220 volts.	Lampes à incandescence et quelques-unes à arc.	Canalisation souterraine.	Les branchements aériens sont recouverts.	A 2m,50 et plus de la ligne télégraphique souterraine, sauf aux croisements, où les deux lignes se rapprochent à 0m,50 environ, avec précautions spéciales pour éviter tout contact.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 1 mètre.
A. 200 volts. Inversions, 350 par seconde.	Lampes à arc.	Poulies en porcelaine.	»	Aucune ligne dans les environs.
A. 500 volts. Inversions, 120 par seconde.	Bougies Jablochkoff.	Recouverts de caoutchouc.	»	Aucune ligne dans le voisinage.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Les fils de lumière sont de 1 à 2 mètres plus élevés que la ligne téléphonique.
C. 200 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts d'une gaine de caoutchouc et d'une gaine de chatterton.	A l'extérieur les fils sont à 12 mètres de hauteur; à l'intérieur, ils sont placés dans des linteaux à rainures.	A 2 mètres des lignes voisines. Les fils téléphoniques sont parallèles.
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 2 mètres.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 200 mètres de la ligne télégraphique.
C. 325 volts.	Lampes à incandescence.	Les fils sont placés dans des caniveaux en fonte.	Canalisation souterraine.	A une grande distance de la ligne téléphonique aérienne.
A. 30 périodes par seconde.	Lampes à arc différentielles.	Câbles garnis de couches de coton et de gutta.	»	Pas de conducteurs voisins.
C. 105 volts.	Lampes à incandescence.	Isolés dans la traversée des rues.	»	Passent à 2 mètres au-dessus du fil télégraphique.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Meurt.-et-Mos. (*Suite.*)	Jarville.	Eclairage de deux usines à fonte comprenant chacune deux hauts fourneaux. (2 lignes.)	1er groupe. Machine à vapeur de 8 chevaux. 2e groupe. Machine à vapeur de 10 chevaux.	A chaque groupe, dynamo de 37 ampères.
	Pont-à-Mousson.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 35 chevaux.	Dynamo de 26.500 watts.
	Saulnes.	Ligne d'éclairage reliant un château à une usine.	Machine à vapeur de 20 chevaux.	Dynamo de 120 ampères.
	Nancy.	Réseau urbain d'éclairage.	4 machines à vapeur de 295 chevaux (ensemble).	4 dynamos de 300 ampères. 3 dynamos de 40 ampères.
	Nancy.	Eclairage d'une corroirie, d'une usine et d'une maison d'habitation.	Machine à vapeur de 30 chevaux.	Dynamo, système Edison.
	Dombasle.	Eclairage de chantiers intérieurs et extérieurs à la ville.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo de 8 ampères.
Meuse	Verdun.	Ligne d'éclairage reliant des moulins à une maison d'habitation.	Turbine de 8 chevaux.	Dynamo de 40 ampères.
	Verdun.	Réseau urbain.	Turbine de 30 chevaux.	Dynamo de 40 ampères.
	Saint-Mihiel.	Ligne d'éclairage reliant des écuries, des ateliers, des moulins et une maison d'habitation.	Turbine de 10 chevaux.	Dynamo de 30 ampères.
	Fontaine-au-Rupt près d'Etain.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation et une usine.	Machine à vapeur de 20 chevaux.	Dynamo de 110 volts pour les ateliers. Accumulateurs pour l'habitation.
Nièvre	Nevers.	Eclairage d'un magasin et d'ateliers.	Moteur à eau.	Dynamo (Edison).
	La Machine.	Eclairage de l'intérieur de l'usine de la Compagnie des houillères.	Moteur à vapeur de 15 chevaux.	Dynamo (type de 2 foyers Jablochkoff).

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs.	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 120 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Croisement perpendiculaire à la direction des lignes.
C. 130 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	Distance de 4 mètres.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	»	»	Passent à 2 mètres au-dessus des lignes télégraphiques.
C. 100 volts. A. 2,000 volts, 166 inversions. Transformateur, 100 volts.	Lampes à incandescence.	Fils bien isolés.	Câbles enfouis sous le sol. Dans les maisons ils sont sous moulures en bois.	Distance de 5 mètres.
C. 104 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts d'enveloppes isolantes.	»	Distance de 5 mètres.
C. 930 volts.	Lampes à arc.	Isolateurs à cloche.	Isolés au point où ils peuvent être touchés.	Distance de $0^m,90$ de la ligne téléphonique.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Cloches en porcelaine à l'extérieur; enveloppes protectrices à l'intérieur.	Plus d'un mètre des murs des maisons à l'extérieur; enveloppes isolantes à l'intérieur.	3 mètres au-dessus d'une ligne téléphonique coupée perpendiculairement.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Cloches en porcelaine à l'extérieur; enveloppes protectrices à l'intérieur.	»	5 mètres au-dessus d'une ligne téléphonique coupée en biais.
C. 50 volts.	Lampes à incandescence.	Cloches en porcelaine à l'extérieur; fils recouverts à l'intérieur.	Fils fixés aux plafonds à l'intérieur.	A 40 mètres de la ligne télégraphique.
C. 110 volts pour les ateliers; 50 volts pour les accumulateurs.	Lampes à incandescence.	Fils caoutchoutés.	Canalisation souterraine.	6 à 7 mètres au-dessous de la ligne télégraphique aérienne.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts de caoutchouc et de rubans goudronnés.	Fils recouverts dans les ateliers.	
A. Courant primaire, 151 volts. Transformateur, 220 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts de gutta et de toile goudronnée.		

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Nord	Douai.	Eclairage de l'intérieur d'une usine.	Machine à vapeur de 40 chevaux.	2 dynamos : l'une de 8.250 watts, l'autre de 24.750 watts.
	Roubaix.	Eclairage d'établissements séparés par une rue.	Machine.	Dynamo.
	Roubaix.	Ligne d'éclairage reliant un magasin à des ateliers.	»	Dynamo Edison.
	Lille-Fives.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation et une filature.	Machine à vapeur de 270 chevaux.	Dynamo de 210 ampères.
	Dunkerque.	Eclairage d'un quartier.	Moteur à gaz.	Dynamo et 30 accumulateurs.
	Dunkerque.	Ligne d'éclairage reliant des bureaux et des usines.	»	Dynamo.
	Anzin.	Eclairage du port d'embarquement de la gare de Denain.	»	Dynamo.
	Lille.	Ligne d'éclairage reliant le n° 15 de la rue des Trois-Couronnes au n° 7 de la rue du Marché-au-Fromage (en construction).	Moteur à gaz de 5 chevaux.	Dynamo et 40 accumulateurs.
	Cambrai.	Eclairage de deux usines séparées par une voie publique.	Machine à vapeur.	Dynamo.
Oise	Noailles.	Eclairage d'une usine et d'une fabrique séparées par une route.	Machine à vapeur de 12 chevaux.	Dynamo.
	Hénonville.	Ligne d'éclairage reliant une usine à une maison d'habitation.	Machine à vapeur de 8 chevaux.	Dynamo de 20 ampères.
	Compiègne.	Réseau urbain d'éclairage.	1 machine à vapeur de 100 chevaux.	2 dynamos de 33.000 watts.
Orne	Domfront.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 10 chevaux.	Dynamo Gramme.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES		DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
		POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	AUX POINTS les plus dangereux	
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts de caoutchouc et de chanvre goudronné.	Fils enfermés dans des rainures en bois.	A 4 mètres d'une ligne téléphonique.
C. 100 volts.	»	Fils posés sur isolateurs.		
C. 110 volts.	»	Isolateurs en porcelaine.		
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Fils très bien isolés.	»	A 50 mètres de toute ligne téléphonique.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 10 à 15 mètres des lignes téléphoniques; aux points de croisement, ils passent à 5 mètres en dessous.
C. 110 volts.	»	Fil de retour isolé, caoutchouté; tresse bitumée.	Sous moulures pour les parties accessibles; sur porcelaine pour les traversées de rues.	
C. 70 volts.	»	Isolateurs en porcelaine.		
C. 100 volts.	Lampes à arc, à incandescence.	câble isolé, caoutchouc et gutta.	»	Pas de ligne dans le voisinage.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 4 mètres d'une ligne téléphonique qui coupe presque à angle droit les fils de lumière.
C. 70 volts.	Lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	A l'intérieur les fils sont recouverts d'une enveloppe isolante.	Aucune ligne ne se trouve dans le voisinage.
C. 100 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A plusieurs kilomètres de toute autre ligne.
C. 220 volts.	Lampes à incandescence.	Recouverts d'enveloppes isolantes.	»	A une grande distance des lignes télégraphiques. Aux points de croisement ils passent à 2 mètres ou 2^m,60 au-dessous.
C. 400 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Les fils sont à une distance de 6 mètres parallèlement au réseau télégraphique. Aux points de croisement les deux lignes se rapprochent à 1 mètre.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Pas-de-Calais	Havrincourt.	Eclairage d'un château et d'une fabrique.	Machine à vapeur.	Dynamo de 60 ampères.
Pas-de-Calais	Calais.	Eclairage d'une maison d'habitation et d'ateliers.	Machine à vapeur.	Dynamo.
Puy-de-Dôme	Clermont-Ferrand.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo de 120 ampères.
Puy-de-Dôme	Clermont-Ferrand.	Ligne d'éclairage du théâtre.	Moteur à gaz de 10 chevaux.	Dynamo de 110 ampères.
Basses-Pyrénées	Pau.	Ligne d'éclairage distribuant la lumière dans divers points de la ville.	Machine à vapeur de 70 chevaux.	2 dynamos de 225 ampères.
Basses-Pyrénées	Oloron.	Ligne d'éclairage distribuant la lumière dans divers points de la ville.	Turbine de 60 chevaux.	3 dynamos de 13 000 watts chaque.
Basses-Pyrénées	Biarritz.	Eclairage du casino et du café anglais.	Machine à vapeur de 60 chevaux.	Dynamo de 33.900 watts.
Basses-Pyrénées	Eaux-Bonnes.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 120 chevaux.	2 dynamos de 16.500 watts chacune.
Basses-Pyrénées	Bedous.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 8 chevaux.	Dynamo de 40 ampères.
Hautes-Pyrénées.	Argelès-de-Bigorre.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 30 chevaux.	Dynamo de 2.000 watts.
Rhône	Lyon.	Ligne d'éclairage reliant tous les points de la rue de la République et de celle des Archers.	4 machines à vapeur de 125 chevaux chacune.	8 dynamos de 250 ampères.
Terr. de Belfort.	Delle.	Transport de force.	Turbine.	Dynamo.
Terr. de Belfort.	Beaucourt.	Ligne d'éclairage reliant deux ateliers.	Machine à vapeur de 100 chevaux.	Machine Gramme.
Saône-et-Loire	Le Creusot.	Eclairage des usines du Creusot. 1er groupe. Points reliés : chaudronnerie, montage de marine, fonderies et bureaux des études.	Machine à vapeur de 200 chevaux. (50 chevaux seulement employés pour l'éclairage.)	2 dynamos de 6 chevaux. 3 dynamos de 11 chevaux chaque.
Saône-et-Loire	Le Creusot.	Eclairage des usines du Creusot. 2e groupe. Aciéries, forgeage, grande forge, salle de musique.	2 moteurs à gaz de 24 chevaux.	2 dynamos : l'une de 12 chevaux, l'autre de 4. 1 dynamo de 8 chevaux.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs.	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 70 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		Câbles souterrains sur une grande partie du parcours.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		A 3 mètres des lignes les plus rapprochées.
C. 115 volts.	Lampes à incandescence.	Fils recouverts de gomme, de coton et de goudron.		Le conducteur est toujours souterrain.
C. 75 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs à double cloche.		8 mètres parallèlement et 2 mètres aux points de croisement.
C. 100 et 120 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		A plus de 4 mètres partout.
C. 120 et 125 volts.	Lampes à incandescence.	Enveloppes caoutchoutées ou recouvertes de gutta-percha.		Très éloignés des autres lignes. Fils de lumière isolés aux points de croisement.
C. 70 volts.	Lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.		A 25 mètres des lignes voisines.
C. 120 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		De 3 mètres à 3^{m},50 des lignes voisines.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		De 3 mètres à 3^{m},50 des lignes voisines.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		Fils recouverts aux points de croisement de moins de 2 mètres.
C. 130 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Fils recouverts de plomb, de cordes goudronnées et de rubans d'acier.	Canalisation entièrement souterraine.	Distance de 2^{m},50 sur tout le parcours, excepté sur un point où le croisement est à 0^{m},60.
C. 80 volts.	Dynamo.	Fils recouverts de caoutchouc protégé par une tresse.		Distance de 100 mètres.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Fils recouverts de ruban goudronné. Poulies en porcelaine.		A 2^{m},05 d'un fil de sonnerie appartenant au permissionnaire.
C. 100 volts. A. 250 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	A l'extérieur passent à 5 mètres au-dessus du sol. — Parfaitement isolés à l'intérieur.	Pas de lignes voisines.
C. 120 et 840 volts. A. 300 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	A l'extérieur passent à 5 mètres au-dessus du sol. — Parfaitement isolés à l'intérieur.	Pas de lignes voisines.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Saône-et-Loire.. (*Suite.*)	Le Creusot. (*Suite.*)	Éclairage des usines du Creusot. 3e groupe. Les tôleries.	1 machine à vapeur de 25 chevaux.	1 dynamo de 10 chevaux.
		4e groupe. Atelier d'artillerie et bureaux.	1 locomobile de 25 chevaux.	2 dynamos de 10 chevaux chacune.
		5e groupe. Port de Montchanin.	1 locomobile de 25 chevaux.	2 dynamos de 4 chevaux chacune.
Sarthe	Le Mans.	Ligne d'éclairage portant la lumière dans divers immeubles place de la République et rue Dumas.	Machine à vapeur de 80 chevaux.	Dynamo de 400 ampères.
	Le Mans.	Ligne d'éclairage distribuant la lumière dans divers points de la ville.	2 machines à vapeur de 25 chevaux chacune; une troisième de 50 chevaux.	2 dynamos de 50 ampères, 1 troisième de 120.
Savoie	Modane.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 40 chevaux.	Dynamo de 150 ampères.
	Yenne.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 7 chevaux.	Dynamo de 16 ampères.
	Pont-de-Beauvoisin.	Réseau urbain d'éclairage.	1 turbine.	Dynamo Edison.
	Saint-Jean-de-Maurienne.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Turbine de 30 chevaux.	2 dynamos.
Haute-Savoie. .	Alby-sur-Cheiran.	Réseau urbain d'éclairage (en construction).	Turbine de 30 chevaux.	Dynamo.
	La Roche-sur-Foron.	Réseau urbain d'éclairage.	1 turbine de 50 chevaux. 2 machines à vapeur de 25 chevaux.	2 dynamos de 39.000 watts.
Seine.......	Paris.	Ligne d'éclairage reliant le n° 7 au n° 10 de la rue Desaix.	Machine de 20 à 24 chevaux.	Dynamo de 11.000 watts.
	Paris.	Ligne reliant le n° 25 de la rue Saint-Sébastien au n° 24 de l'impasse de ce nom.	Machine à vapeur de 80 chevaux.	Dynamo de 80 ampères.
	Paris.	Ligne d'éclairage reliant le sous-sol du théâtre de l'Opéra au Cercle militaire.	Machine à vapeur de 100 chevaux.	2 dynamos de 320 ampères.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES		DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
		POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	AUX POINTS les plus dangereux	
A. 200 volts.	Bougies Jablochkoff.	Câbles recouverts.	»	A une grande distance des lignes téléphoniques.
C. 910 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Câbles recouverts.	»	Passent loin des lignes téléphoniques.
A. 1re 300 volts. 2e 160 volts.	Lampes à arc et bougies Jablochkoff.	Isolateurs en porcelaine.	»	Pas de lignes voisines.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 10 mètres des lignes téléphoniques.
C. 300 volts.	Lampes à incandescence.	Isolés par du chanvre et une composition bitumineuse.	Conduite souterraine.	Un des conducteurs passe au-dessus de la ligne télégraphique et la suit sur une distance de 20 mètres.
C. 160 volts.	Lampes à incandescence.	Sur poteaux et sur consoles.	Isolés dans l'intérieur des maisons.	A 4 ou 5 mètres des autres lignes.
C. 103 volts.	Lampes à incandescence.	Posés sur cloches d'arrêt.	»	A 0m,80 de la ligne télégraphique.
C. 90 volts.	Lampes à incandescence.	Isolant en caoutchouc.		
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Cloches doubles.	»	A 4 mètres du télégraphe; 2 mètres du téléphone; croisements à angle droit.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	Fils recouverts de gutta et d'une enveloppe de coton.	A 2 mètres au moins de la ligne télégraphique.
C. 130 à 140 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Isolés lorsqu'ils croisent les lignes à moins de 1 mètre, ou lorsqu'ils les suivent à une distance de moins de 2 mèt.
C. 1.100 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Fixés sur du bois par des conduits.	»	Pas de lignes à proximité.
»	Galvanoplastie.	Isolateurs en porcelaine.	»	Pas de lignes à proximité.
C. 120 volts.	Lampes à incandescence.	Placés aériennement dans les salles de machines, sous moulures dans le reste du bâtiment; protection d'une gaine en plomb dans les égouts.	Placés à 2m,50 du sol dans les parties aériennes; sous moulures ou sous plomb pour le reste du parcours.	A 0m,30 des fils téléphoniques voisins. — La ligne est composée de deux conducteurs parallèles traversés par des courants égaux et de sens contraires.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE MÉCANIQUE du moteur	NATURE ET PUISSANCE ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Seine (*Suite.*)	Paris.	Ligne d'éclairage reliant le boulevard des Italiens, la rue Grange-Batelière, le Conservatoire, l'Alcazar, le boulevard Montmartre et le boulevard Poissonnière.	Moteur à vapeur de 600 chevaux.	2 dynamos de 06.600 watts chaque.
	Paris.	Ligne de transport de force reliant l'entrepôt du quai de la Gare, n° 65, à une estacade en face.	Machine à vapeur de 50 chevaux.	Dynamo de 75 ampères.
	Paris.	Ligne d'éclairage reliant la station centrale électrique et les théâtres (*) : Renaissance, Porte-Saint-Martin, Ambigu, Folies-Dramatiques.	4 machines à vapeur de 70 chevaux chacune.	6 dynamos de 270 chevaux ; 2 batteries d'accumulateurs de 30 chevaux.
	Paris.	Ligne d'éclairage reliant le théâtre du Châtelet et le théâtre de Paris (Opéra-Comique).	Machine à vapeur de 140 chevaux.	2 dynamos de 37.500 watts ; 1 machine pour 8 foyers.
	Paris.	Ligne d'éclairage reliant la rue de Valois et la galerie du même nom.	Machine à vapeur de 40 chevaux.	2 dynamos de 6.000 watts.
Seine-Infér.	Le Havre.	Eclairage de l'avant-port, pendant les marées de nuit.	2 locomobiles de 55 chevaux chacune.	4 dynamos éclairant 720 carcel chacune.
	Rouen.	Ligne d'éclairage reliant deux ateliers de tissage séparés par une rue.	Machine à vapeur de 200 chevaux.	Dynamo de 40 ampères.
	Rouen.	Réseau d'éclairage de la Société normande.	Machine à vapeur de 70 chevaux.	Dynamo de 110 volts, 350 ampères.
Seine-et-Oise.	Corbeil, St-Germain-lès-Corbeil.	Ligne d'éclairage reliant le château de Saint-Germain-lès-Corbeil à une maison d'habitation située à Corbeil.	Machine à vapeur actionnant déjà une machine dynamo.	Dynamo de 10.500 watts.
	St-Germain-lès-Corbeil, Corbeil.	Ligne d'éclairage reliant le châlet de Saint-Germain-lès-Corbeil à une maison d'habitation située à Corbeil.	Machine à vapeur actionnant déjà une machine dynamo.	Dynamo de 4.400 watts.
Deux-Sèvres	Niort.	Ligne d'éclairage reliant une maison d'habitation et une minoterie.	Turbine et machine à vapeur, puissance prise sur le moteur d'un moulin.	Dynamo de 3.865 watts.

(1) Les installations d'éclairage des théâtres de Paris ne sont pas soumises au contrôle de l'administration.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 120 volts.	Lampes à incandescence et lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	A 2m,50 au-dessus des toits.	Pas de lignes télégraphiques à l'endroit où les fils de lumière traversent la voie publique.
C. 210 volts.	Machine Gramme.	Isolateurs en porcelaine.	A plus de 4 mètres de hauteur.	
C. 140 volts.	Lampes à incandescence, lampes à arc, accumulateurs.	Conducteurs aériens supportés sur cloches en porcelaine.	Câbles isolés en caoutchouc dans toute la partie qui se trouve à la portée des personnes.	Distance de 4m,50 des lignes téléphoniques voisines.
C. 110 volts. A. 120 volts; 130 périodes par seconde.	Lampes à incandescence, foyers Jablochkoff.	Conducteurs isolés.	Conducteurs placés en égout.	Passent à 1 mètre d'écartement des lignes voisines.
A. 100 volts; 150 inversions par seconde.	Lampes à incandescence.	Extérieurement, isolateurs en porcelaine; intérieurement, bois.	»	Pas de lignes télégraphiques à proximité.
A. 40 volts.	Bougies Jablochkoff.	Isolés par couches de caoutchouc et garnis de chanvre.	Câbles déposés en terre à 0m,10 au-dessous du pavage.	A 1 mètre environ des autres lignes.
C. 70 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 4 mètres d'une ligne téléphonique d'intérêt privé.
C. De 115 à 120 volts.	Lampes à incandescence; autres systèmes exceptionnellement.	Isolateurs en porcelaine.	Fils aériens hors la portée de la main.	A distance de plusieurs mètres. On a évité les cas de parallélisme.
C. 125 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 0m,50 d'une ligne téléphonique et d'une ligne électrique d'intérêt privé.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	A l'intérieur, les fils sont placés dans des gaines en bois.	A 0m,50 d'une ligne téléphonique et d'une ligne électrique d'intérêt privé.
C. 105 volts.	Lampes à incandescence.	Fils recouverts de gutta-percha et coton.	Les conducteurs sont à 7 mètres de hauteur au dehors, et isolés à l'intérieur.	

elles ne figurent pas dans le présent état.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE	
			MÉCANIQUE du moteur	ÉLECTRIQUE du générateur d'électricité
Somme	Hallencourt.	Ligne d'éclairage reliant une manufacture et une maison d'habitation.	»	Dynamo dyssimétrique.
	Salouel.	Eclairage d'ateliers.	»	Dynamo à courants alternatifs, avec excitatrice à courants continus.
	Corbie.	Eclairage d'une usine.	Machine à vapeur de 60 chevaux.	Dynamo.
Tarn	Mazamet.	Ligne d'éclairage reliant trois usines.	Turbine de 160 chevaux.	Dynamo de 16 chevaux.
Var	Hyères.	Eclairage de la route nationale, du boulevard et de l'avenue de la Gare.	Machine de 20 à 24 chevaux.	Dynamo.
	Saint-Tropez.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine de 55 chevaux.	Dynamo.
Vaucluse	L'Isle-s.-Sorgues.	Ligne d'éclairage distribuant la lumière dans divers points de la commune.	2 roues hydrauliques de 10 chevaux chacune.	Dynamo de 11.200 watts.
	Valréas.	Réseau urbain d'éclairage, alimenté par une ligne allant au moulin de Béconne (15 kilomètres).	Turbine de 50 chevaux.	Dynamo de 24.000 watts.
	Pertuis.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 60 chevaux; machine à vapeur de 60 chevaux.	2 dynamos de 42.000 watts chaque.
	Vaucluse.	Réseau urbain d'éclairage. L'usine est située à Galas et distante de 2 kilomètres de la commune.	Roue hydraulique de 10 à 15 chevaux.	2 dynamos de 4.800 watts chacune.
Vendee	Pouzanges.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 15 chevaux.	Dynamo de 110 volts.
Vosges	Bruyères.	Réseau urbain d'éclairage.	Machine à vapeur de 25 chevaux.	Dynamo de 80 ampères.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	PRÉCAUTIONS PRISES AUX POINTS les plus dangereux	DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
C. 110 volts.	»	Isolement au caoutchouc et gutta-percha.	»	A 100 mètres d'une ligne télégraphique; à $0^m,10$ d'une ligne téléphonique.
A. 120 volts; 130 périodes.	Lampes à arc.	Isolateurs en caoutchouc avec enveloppes de ruban caoutchouté.	Fils posés en élévation dans les charpentes.	
A. 110 volts; 67 périodes.	Lampes à incandescence.	Isolement en caoutchouc, gutta et goudron.	Conduits sur les plafonds.	A 20 mètres des autres lignes.
»	Lampes à incandescence.	Recouverts de gutta-percha ou sur isolateurs.	A l'intérieur recouverts de gutta-percha.	A 2.500 mètres de toute ligne.
C. 800 volts.	Lampes à arc.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 13 mètres au point le plus rapproché.
A. 1.000 volts; transformateur, 100 volts.	Lampes à incandescence.	Fils fixés sur isolateurs.	»	Distance de 15 mètres. La ligne devient souterraine sur tous les points où elle croise le réseau télégraphique.
C. 280 volts.	Lampes à incandescence. Accumulateur.	Isolateurs en porcelaine.	»	A $1^m,50$ de deux points de croisement et à $0^m,60$ d'un troisième; les conducteurs sont isolés lorsqu'ils croisent les lignes.
A. 2.000 volts; 100 renversements; transformateur, 105 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs à double cloche.	Les conducteurs sont aériens; ils sont isolés dans tous les endroits où ils sont à portée.	A 5 mètres des autres lignes. Les fils de lumière sont isolés lorsqu'ils croisent le réseau télégraphique à une distance moindre de 3 mètres.
C. 140 à 150 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Les conducteurs sont isolés lorsqu'ils croisent les autres fils à moins de 1 mètre où lorsqu'ils les suivent à une distance de moins de 2 mètres.
C. 240 volts.	Lampes à arc et à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Distance de 6 à 8 mètres de la ligne télégraphique.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	Les conducteurs croisent la ligne télégraphique à $1^m,50$ sur un point et à 2 mètres sur deux autres points. Ils y sont recouverts d'une enveloppe isolante.
C. 150 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.	»	A 3 mètres des points de croisement où les fils de lumière sont recouverts de gutta et de ruban tanné.

DÉPARTEMENTS	LOCALITÉS	NATURE DES INSTALLATIONS	NATURE ET PUISSANCE mécanique du moteur	électrique du générateur d'électricité
Yonne.	Saint-Fargeau.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 8 chevaux; machine à vapeur de 12 chevaux.	Dynamo de 225 ampères; 1 batterie d'accumulateurs.
Alger.	Miliana.	Réseau urbain d'éclairage.	Turbine de 35 à 70 chevaux.	Dynamo de 200 ampères.

MAXIMUM DE LA FORCE électromotrice des générateurs	NATURE DES RÉCEPTEURS	PRÉCAUTIONS PRISES		DISTANCE MINIMA DES CONDUCTEURS aux lignes télégraphiques et téléphoniques voisines
		POUR L'ISOLEMENT des conducteurs	AUX POINTS les plus dangereux	
C. 75 volts.	Lampes à incandescence.	»	Conducteurs souterrains placés à 0m,60 de profondeur ; fils aériens à 5 mètres de hauteur.	A 1m,80 des autres lignes.
C. 110 volts.	Lampes à incandescence.	Isolateurs en porcelaine.		

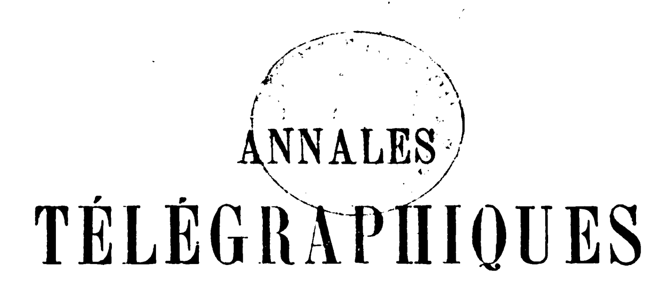
Nécrologie.

Gaston Planté.

Une mort prématurée vient d'enlever au monde savant un de ses représentants les plus estimés et certainement l'un des plus sympatiques. Gaston Planté a été emporté subitement le 21 mai dernier. Né en 1834, Planté, presque au moment où il terminait de brillantes études, s'engageait dans les recherches qui devaient illustrer son nom. Dès 1859, il commençait, par l'envoi d'une note à l'Académie des sciences, cette longue série de communications où fut à peu près constituée la science des *accumulateurs*. Passionné pour l'étude, il ne voulut mêler aucune idée de lucre à ses travaux et laissa à d'autres le soin de tirer des avantages pécuniaires d'une découverte dont il avait fort bien distingué l'importance. Il ne sut mettre à profit son invention des accumulateurs que pour en tirer de nouveaux procédés d'investigation scientifique; sa machine rhéostatique, ses expériences sur les courants de haute tension, les analogies qu'il releva entre leurs effets et ceux des grands phénomènes électriques naturels, foudre globulaire, aurores polaires, etc., assurèrent sa renommée. Les principaux résultats qu'il avait obtenus ont été résumés par lui dans son livre : *Recherches sur l'électricité*, paru en 1879 et réimprimé en 1883. Modeste autant que désintéressé, Planté ne dut sa notoriété universelle qu'à son seul mérite : les distinctions l'allèrent pourtant chercher; l'Institut lui avait décerné, en 1881, le prix de physique de la fondation La Caze et la nomination au grade d'officier de la Légion d'honneur était venu récompenser ses longs travaux. Mais ceux qui avaient été en rapport avec lui étaient tentés d'oublier sa valeur pour songer uniquement au charme de son commerce. Affable et bienveillant, toujours serviable à tous, il mourut en donnant un dernier témoignage de sa bonté et de son amour de la science. Par son testament il crée, dans sa propriété de Bellevue, un asile pour les savants pauvres et institue un prix de 3.000 francs à décerner, tous les deux ans, à l'auteur d'une découverte sur l'électricité.

Les regrets de tous ceux qui l'ont connu resteront attachés à son souvenir.

Gérant : Vᵉ Dunod. — Paris. — Imp. C. Marpon et E. Flammarion, rue Racine, 26.



ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1889 **Juillet-Août**

DISTRIBUTEUR AUTOMATIQUE

POUR RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE SUBURBAIN

L'extension des grands réseaux téléphoniques rencontre de sérieuses difficultés et oblige à des dépenses considérables, aussi longtemps que l'on réserve à chaque abonné l'usage exclusif d'une ligne comprenant un ou deux conducteurs, suivant les cas. Pour éviter des impossibilités de construction, aussi bien que pour réduire dans de très fortes proportions les prix d'abonnement, on a déjà utilisé de nombreux appareils permettant à deux, quatre ou un plus grand nombre d'abonnés, l'usage successif d'une même ligne les reliant à une station centrale. Ces appareils distribuent automatiquement la ligne commune à l'un ou à l'autre des abonnés, et cela sur le désir de l'un d'eux ou de la station centrale.

Dans l'établissement des petits réseaux suburbains on se trouve en face d'un problème de même nature. Une ville d'importance moyenne possédant un réseau

téléphonique, les habitants des bourgs voisins ont un très grand intérêt à être relié à ce réseau; s'il était possible de leur permettre ce rapprochement de la ville voisine, moyennant un faible prix, il n'est pas douteux que le nombre des adhésions serait considérable, et cela autour de chaque réseau important et sur un rayon d'une grande étendue.

Pour réaliser la condition de faible prix, il ne faut évidemment pas songer à accorder une ligne spéciale à chaque abonné; il ne faut pas songer davantage, à moins que le réseau suburbain ne possède un grand nombre d'abonnés, à établir au centre de la localité une sorte de bureau central en correspondance, à l'aide de fils auxiliaires, avec le bureau central de la ville voisine; les frais de personnel qui devraient être prévus pour une pareille organisation pourraient être, en effet, mis en parallèle avec les dépenses de matériel qui résulteraient du premier cas envisagé.

Il y a donc lieu de recourir, ici encore, à une sorte de distributeur automatique, qui serait placé en un point convenable de la localité.

Les conditions auxquelles doivent satisfaire ces appareils sont nombreuses :

1° La station centrale doit pouvoir appeler chaque abonné, sans que les autres abonnés placés sur la même ligne soient dérangés;

2° Chaque abonné doit pouvoir appeler la station centrale sans déranger les autres abonnés;

3° La communication téléphonique doit pouvoir s'établir entre la station centrale et un abonné ou réciproquement, sans que la conversation puisse être épiée ou interrompue par les autres abonnés;

4° Pour qu'un distributeur automatique soit complet,

il doit permettre, en outre, la conversation entre deux abonnés du groupe qu'il dessert.

Pour satisfaire à toutes ces exigences, un appareil doit être un peu compliqué et ses organes nombreux et délicats ; si son fonctionnement est bon, cette complication ne présente pas de sérieux inconvénients dans une grande ville, où les ressources en mécaniciens et agents de surveillance sont généralement abondantes et sur place ; il n'en est pas de même pour une série de réseaux suburbains, la visite fréquente des appareils par un agent spécial serait onéreuse ; aussi l'entretien courant des distributeurs à placer dans ces réseaux doit être simple et n'exiger que des connaissances très répandues, puisque dans certains cas ils seront confiés à des gérants de bureaux de tabac.

L'appareil, dont la description suit, me paraît présenter cette condition de simplicité et de facile entretien ; il joint à cela l'avantage d'élever fort peu le prix des installations ordinaires, et j'ai lieu de croire qu'après une construction soignée son fonctionnement ne laisserait rien à désirer.

La *fig.* 1 permet de se faire une idée générale de son fonctionnement.

Entre le poste central du réseau urbain et le poste de distribution placé vers le centre de la localité à desservir, le service serait assuré par un double fil ; entre le poste de distribution et les abonnés seraient installés :

1° Un fil simple pour chacun d'eux $2'$, $2''$, $2'''$, aboutissant à des bornes isolées *a*, *b*, *c*, placées à égale distance sur une circonférence dont *m* serait le centre.

2° Un second fil $1'$ commun à tous les abonnés A. B. C... du groupe desservi par le distributeur.

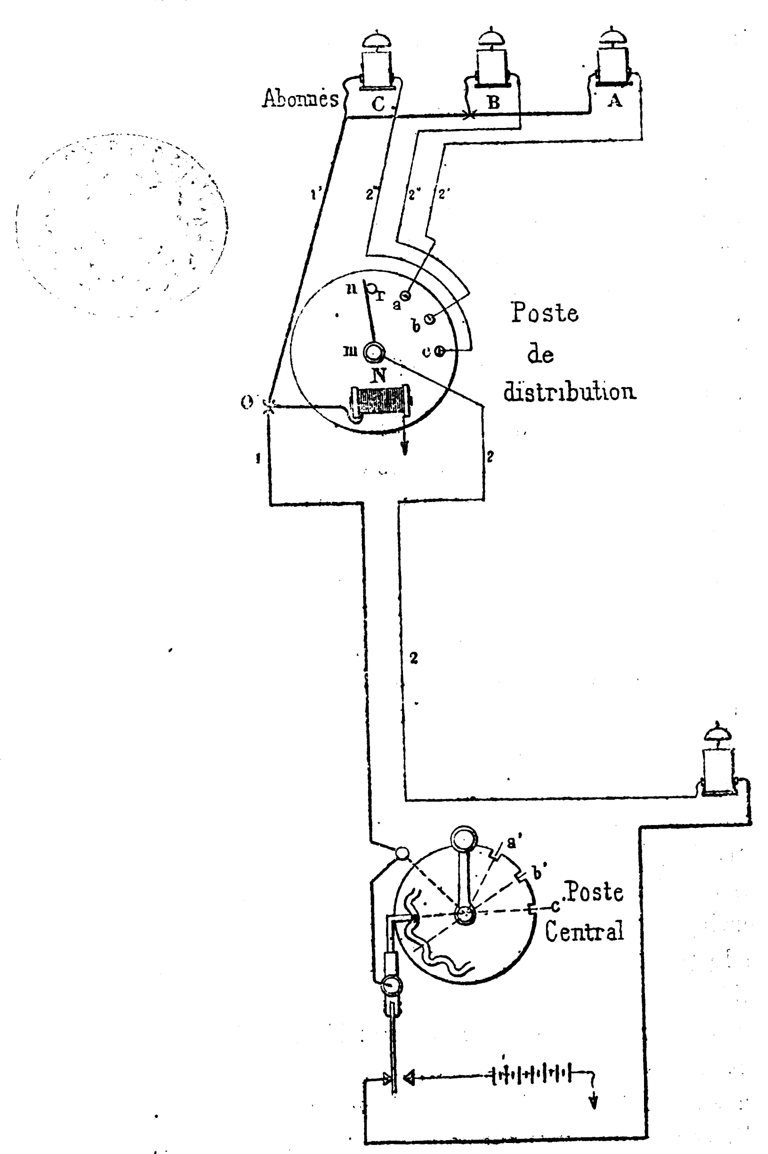


Fig. 1. — Poste de distribution.

Chaque poste d'abonné est représenté par sa sonnerie, de même que le poste central.

Pour rester dans les généralités et pour dispenser, quant à présent, de la description des mécanismes, supposons que le distributeur soit un récepteur à cadran du modèle ordinaire, avec son électro-aimant N en relation avec la terre d'un côté et avec le fil 1, commun à tous les postes, de l'autre; *mn* en est l'aiguille reliée au fil 2, et qui de sa position de repos *mr* se portera en *ma*, *mb* ou *mc*, après une, deux ou trois émissions envoyées par le manipulateur à cadran placé au poste central à l'aide d'une pile, dont l'autre pôle est à la terre. Les positions *ma*, *mb*, *mc* correspondent aux repos qui suivent l'émission de chaque courant par le manipulateur, c'est-à-dire aux lettres B, D et F d'un récepteur à cadran monté à la façon ordinaire. Les communications étant disposées comme l'indique la *fig.* 1, on voit que tout déplacement du manipulateur à cadran produira un déplacement de même angle de l'aiguille du récepteur, et cela malgré les dérivations du fil 1 par les postes d'abonnés. L'aiguille *mn* étant conductrice, viendra, sur le désir de la station centrale, établir une communication entre le fil 2 et chacun des fils 2′, 2″, 2‴, et formera ainsi un circuit métallique pour l'abonné que l'on désire appeler. Ceci fait, le poste central rentrera sur ce circuit métallique et pourra sonner avec une pile dont les pôles communiqueront aux deux fils 1 et 2; la dérivation unique placée à la terre en O n'empêchera pas que le courant ainsi envoyé n'aille faire fonctionner la sonnerie de l'abonné que l'on désire; et cela sans que les sonneries des autres abonnés fonctionnent. La communication téléphonique pourra de même s'établir entre le central et

l'abonné; les courants téléphoniques produits par la conversation ne traversant point les postes des autres abonnés, il sera impossible à ceux-ci de surprendre cette conversation.

Une disposition de tous points semblable dans ses généralités à celle qui est représentée par la *fig.* 1 permet à chaque abonné d'orienter le distributeur pour la communication avec la station centrale, d'appeler celle-ci et d'entrer en conversation avec elle.

La description des divers organes et les figures qui vont suivre montreront comment cette communication réciproque entre la station centrale et l'un des abonnés peut être réalisée d'une manière sûre, ainsi que la communication entre un abonné du groupe suburbain et un abonné du réseau urbain; par quels moyens chaque abonné est informé, à l'aide d'un voyant, de l'utilisation de la ligne commune par un de ses collègues, son manipulateur d'orientation étant, en outre, verrouillé pour éviter toute distraction de sa part, qui aurait pour effet d'interrompre la conversation en cours; comment l'aiguille du distributeur peut être ramenée à sa position de repos (rappel au blanc) par la station centrale en cas de fonctionnement irrégulier du distributeur ; de quelle manière sont montés les différents postes (station centrale, poste de distributeur, poste d'abonné) pour entraîner un faible supplément de prix dans leur installation ; comment enfin la communication entre deux abonnés du groupe peut être réalisée si le désir en est exprimé.

Poste central.

La *fig.* 2 représente l'installation complète que devra recevoir la station centrale du réseau urbain pour

communiquer avec les abonnés du groupe suburbain.

A droite est figurée l'installation ordinaire d'un poste de station centrale, A est l'annonciateur du groupe suburbain avec un jacknife de forme ordinaire pour double fil, F est la fiche double ordinaire, C une clef d'appel double dont les communications sont particu-

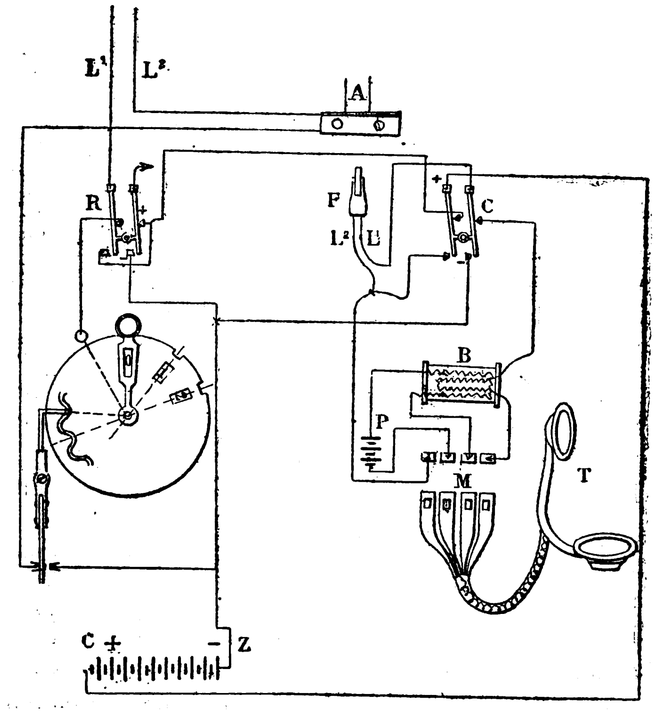


Fig. 2. — Poste central.

lières, B, P, M et T sont la bobine d'induction, la pile de microphone, la mâchoire à 4 communications et l'appareil double ordinairement usités dans les stations centrales.

En CZ se trouve une pile de 10 à 15 éléments Le-

clanché, qui pourra être commune à tous les groupes suburbains qui seraient desservis par le même téléphoniste; cette pile pourrait être la même que celle du bureau, si le réseau urbain est à simple fil.

A gauche est figurée l'installation spéciale au groupe suburbain; elle est composée d'un manipulateur à cadran de forme ordinaire, dont les lettres sont remplacées par les numéros d'abonnés du groupe ; le nombre des crans d'arrêt de la manivelle est diminué de moitié, un manipulateur de dimension ordinaire peut, par suite, desservir douze abonnés; toutefois ce nombre n'est point une limite, il n'y a qu'à augmenter le diamètre de la roue pour permettre de desservir un plus grand nombre d'abonnés, en laissant un intervalle entre les émissions, suffisant pour la régularité du fonctionnement du distributeur.

Le mouvement de la manivelle d'orientation aura pour effet d'envoyer une succession de courants négatifs sur la ligne L1, le pôle positif de la pile étant à la terre par les deux clefs C et R.

La clef R a pour effet d'inverser les pôles de la pile et d'envoyer un courant positif sur la ligne L1, en mettant le pôle négatif à la terre; comme on le verra plus loin, cette clef ramènera à la position de repos l'aiguille du distributeur, elle devra être abaissée après chaque conversation échangée par la ligne du groupe.

Ceci posé, et la figure donnant d'ailleurs toutes les communications électriques, il paraît inutile d'entrer dans des explications complémentaires.

Les appareils étant tous au repos dans la position figurée, si le clapet de l'annonciateur A tombe, le téléphoniste de service introduira la fiche F dans le jack-nife en isolant l'annonciateur, recevra la demande de

l'abonné et lui donnera satisfaction, s'il s'agit d'une communication avec un abonné du réseau urbain, à l'aide d'un cordon souple à deux conducteurs qui ira soit au jacknife de l'abonné demandé dans un réseau urbain à double fil, soit à un transformateur dans un réseau à simple fil; sitôt que l'annonciateur de fin de conversation aura indiqué que la ligne redevient disponible, la téléphoniste devra remettre tout en l'état figuré et abaisser la clef R pour remettre le distributeur au repos ; on verra, en effet, que les manettes d'orientation, mises à la disposition des abonnés du groupe, donnent un nombre d'émissions suffisant pour orienter convenablement le distributeur, mais ne permettent pas le rappel au blanc, et cela pour empêcher que les abonnés ne puissent interrompre les conversations en cours.

Si, au contraire, la station centrale ou un abonné du réseau urbain désire communiquer avec un abonné du groupe suburbain, l'abonné n° 2 par exemple, la téléphoniste devra tourner la manette d'orientation au cran marqué 2, introduire la fiche dans le jacknife et, à l'aide de la clef C, appeler l'abonné 2, qui, seul, recevra cet appel, la suite des opérations aura lieu comme d'habitude ; sitôt la conversation terminée, la manette d'orientation sera ramenée au repos dans le sens convenable. On pourra aussi, pour assurer le rappel au blanc du distributeur, envoyer un courant positif avec la clef R, mais on sait que cela n'est pas nécessaire quand l'orientation est faite par le manipulateur de la station centrale.

Poste de distribution (*).

La *fig.* 3 représente le cadran de distribution, N et P sont deux électro-aimants polarisés agissant par des courants négatifs pour N et positifs pour P ; le premier produit l'avancement de l'aiguille par un mécanisme semblable à celui d'un récepteur à cadran, le second produit le rappel de l'aiguille au repos en attirant la pièce qui porte les cliquets de déclenchement. Ce double mécanisme étant semblable à celui d'un récepteur à cadran ordinaire, je me dispense de plus longues explications ; toutefois, comme le ressort plat *mn* qui remplace l'aiguille doit appuyer fortement sur les divers boutons 1, 2, 3, etc., pour assurer un bon contact téléphonique, l'axe de la roue d'échappement devra recevoir une impulsion beaucoup plus forte que dans le cas d'un récepteur ordinaire. A cet effet, elle devra être reliée au tambour du ressort par l'intermédiaire de deux pignons seulement au lieu de quatre que portent habituellement les récepteurs. La détente d'un ressort ordinaire fera faire 420 tours à l'axe de distribution, ce qui obligera à le remonter une fois par semaine seulement dans le cas d'un groupe de dix abonnés avec six communications par jour pour chacun d'eux. Malgré le supplément de force appliquée sur l'axe de distribution, le déclenchement de la roue d'échappement sera toujours facile à l'aide de l'électro-aimant N. Afin d'assurer un bon contact entre le ressort *mn* et les boutons 1, 2, 3, ces boutons devront

(*) L'auteur s'est surtout préoccupé d'exposer le principe et le mode d'emploi de l'appareil. Les mécanismes indiqués pour le poste de distribution peuvent varier. L'auteur en a déjà combiné d'autres différents de ceux qu'il avait eus en vue tout d'abord et qui remplissent le même but.



toujours être disposés un peu en arrière de la position

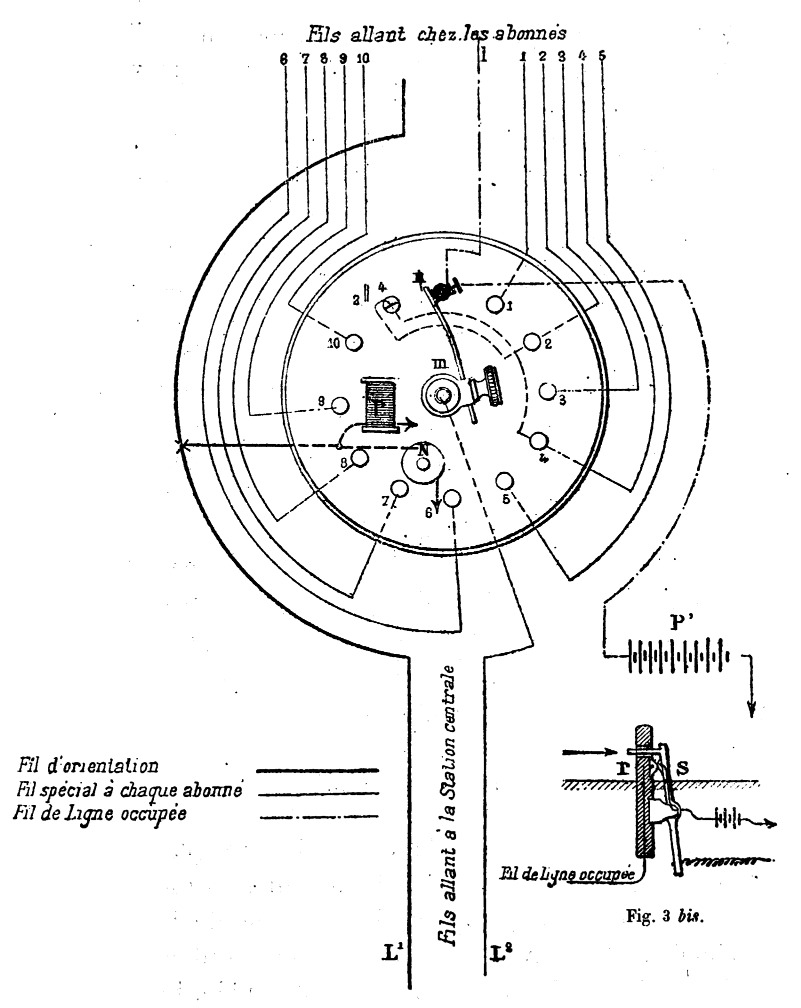


Fig. 3 *bis*.

Fig. 3. — Poste de distribution pour dix abonnés et une intercommunication.

que prendrait le ressort R, le cliquet d'échappement s'opposait seul à son mouvement en avant.

La onzième goupille isolée formant butoir marquée 2 || 4 sert pour les communications entre les abonnés 2 et 4 du même groupe ; son fonctionnement, qu'il est du reste facile de saisir d'après la figure, sera néanmoins exposé plus loin.

La goupille *n* servant de butoir de repos est en matière isolante ; elle possède une disposition spéciale représentée par la *fig.* 3 *bis* et qui sert à interrompre le circuit d'une pile avec un fils spécial *nl* qui passe chez chaque abonné du groupe. Dès que l'aiguille *mn* a quitté sa position de repos, c'est-à-dire dès qu'un abonné, ou la station centrale, a fait le premier mouvement pour se servir de la ligne commune, le courant de la pile P′ part sur le fil *nl* et annonce à chaque abonné que la ligne est occupée, en sortant un voyant et verrouillant la manette d'orientation de tous les abonnés, sauf celui qui veut utiliser la ligne ; cette pile pourra d'ailleurs être la pile d'appel de la cabine publique que les réseaux suburbains possèderont sans doute. La *fig.* 3 *bis* montre que cette manœuvre se produit par l'écartement des deux pièces *r* et *s* formant contact, et cela sous la pression du ressort *mn*.

Poste d'abonné.

La *fig.* 4 représente la disposition complète d'un poste d'abonnés, ces postes étant d'ailleurs tous semblables ; on reconnaîtra, en bas, l'appareil microtéléphonique Ader avec ses communications ordinaires, à l'exception de la clef d'appel qui est double. En M se trouve la manette d'orientation mise à disposition de chaque abonné, celle qui est représentée est affectée à l'abonné n° 6, elle se compose d'une pièce circulaire

munie de goupilles isolantes perpendiculaires au plan

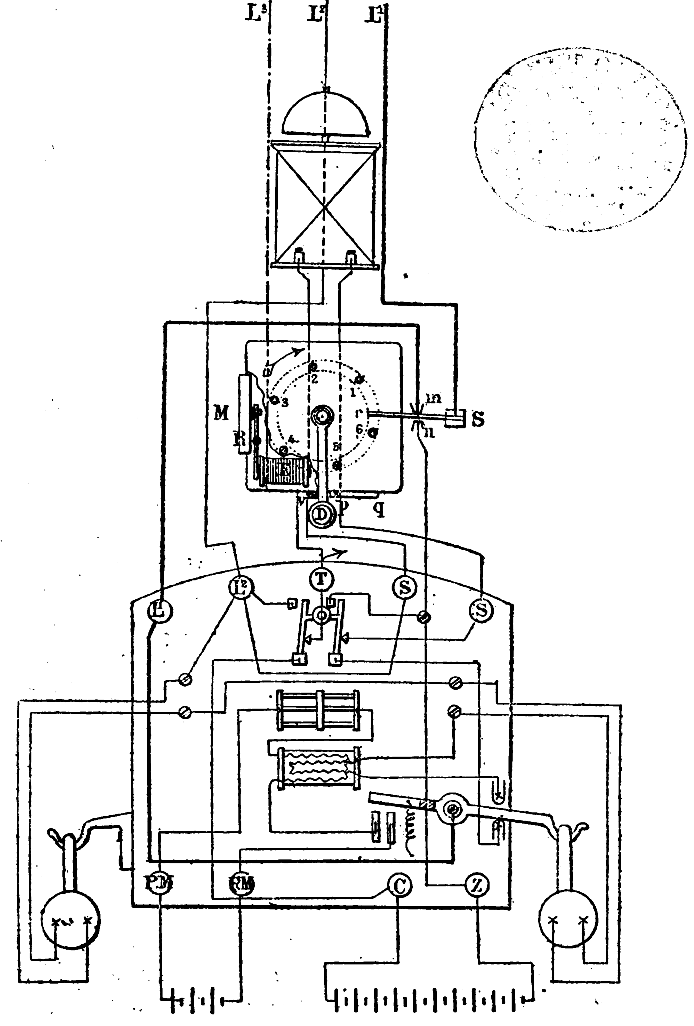


Fig. 4. — Poste d'abonné.

du cercle et en nombre variable suivant le numéro de

l'abonné, cet ensemble peut tourner à l'aide de la manivelle OD autour d'un axe parallèle aux goupilles et passant par le centre O du cercle, de sorte qu'après un tour complet, les six goupilles seront venues successivement appuyer le ressort *rs* sur son butoir inférieur *n;* ce qui aura produit, sur la ligne L1, l'émission de six courants négatifs successifs, le pôle *c* de la pile étant à la terre par la clef double d'appel de l'appareil; ces courants auront pour effets:

1° D'orienter l'aiguille du distributeur de façon à former un circuit métallique avec les deux fils de la ligne commune et les fils L1 et L2 arrivant chez l'abonné n° 6.

2° De lancer, dans le fil spécial de ligne occupée, un courant qui, arrivant par le fil L3, mettra en mouvements les électro-aimants E de chaque abonné; l'un des pôles de cet électro-aimant fera sortir de la boîte le voyant rouge R, l'autre pôle fera sortir perpendiculairement au plan de l'appareil, le verrou V qui empêchera chez les autres abonnés le mouvement de la manivelle OD et aura pour effet chez l'abonné n° 6 qui appelle d'empêcher celui-ci de faire tourner de plus d'un tour sa manivelle d'orientation. Cette dernière mesure a bien son intérêt, car on sait que si l'abonné 6 dépassait sensiblement la position de repos dessinée, le contact 1 viendrait une seconde fois en prise avec le ressort *rs* et en faisant tourner d'un cran de plus le distributeur, empêcherait toute communication entre l'abonné n° 6 et le réseau. Le mouvement, en sens inverse de la flèche de la manette OD, est empêché d'une manière permanente par un verrou *p* maintenu par un ressort *pq*, lequel s'abaisse sous le passage de la manette dans le sens direct.

Sitôt la communication terminée, le distributeur étant ramené au repos par la station centrale, le voyant R et le verrou V reprennent leurs positions de repos sous l'influence de ressorts antagonistes.

Intercommunication des abonnés.

Ainsi qu'il a été dit précédemment, la goupille du distributeur (*fig.* 3) qui porte l'indication 2 || 4, sert pour établir la communication entre les fils spéciaux des abonnés 2 et 4. Sur la demande de l'un d'eux faite à la station centrale, celle-ci oriente le distributeur de manière que le ressort mette en communication les deux abonnés 2 et 4. Le circuit métallique des deux fils allant à la station centrale, reste en dérivation, mais cela ne peut avoir d'inconvénients sérieux pour une communication téléphonique, cela permet en outre à la station centrale d'être informée de la fin de la conversation entre les abonnés 2 et 4.

Cet exemple a été dessiné pour montrer que le système se prête à cette exigence ; toutefois, il me paraît qu'il y a plus d'inconvénients que d'avantages à permettre les intercommunication dans un réseau suburbain, elles ne peuvent pas, en effet, répondre à de grands besoins, car les abonnés d'un même groupe habitent, en général, à quelques centaines de mètres les uns des autres, et il leur est facile, s'ils ont de fréquentes relations, de donner satisfaction à leurs besoins sous forme de ligne d'intérêt privé reliant leurs établissements. D'autre part, il paraît désavantageux de priver les autres abonnés du même groupe d'une communication beaucoup plus importante avec le réseau urbain voisin pendant tout le temps que conver-

sent entre eux deux abonnés du groupe. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que même dans les villes de 40 à 50.000 habitants, le désir d'avoir une communication interurbaine prime de beaucoup celui d'avoir un réseau urbain ; à plus forte raison en sera-t-il ainsi pour de petites agglomérations où les distances entre les établissements seront très faibles ; du reste si l'on veut permettre les intercommunications entre deux abonnés quelconque d'un groupe de dix abonnés, le nombre de goupilles qu'il faudrait mettre sur le distributeur du système que je propose, serait de 56, y compris la goupille de repos. En résumé, je serais d'avis de remplacer la goupille d'intercommunication figurée, par un onzième abonné ou mieux par une cabine publique placée au poste de distribution 1 (Bureau des Postes et Télégraphes ou Bureau de tabac).

Lignes.

De ce qui précède, il semble résulter que le nombre de fils reliant le poste de distribution à chaque abonné est de trois ; l'abondance des fils à établir, serait malgré leur petite longueur, de nature à jeter un discrédit sur ce système, mais la *fig.* 5 qui représente un réseau type, montre que si trois fils entrent réellement chez chaque abonné, l'extension totale du réseau suburbain ne comporte guère plus d'un fil et demi par abonné ; les fils d'orientation sont en effet communs à tous les abonnés, ainsi que les fils de ligne occupée, cette disposition ne peut avoir aucun inconvénient, la résistance des fils étant négligeable par rapport à celle des électro-aimants à mettre en action.

Quant au double fil reliant le poste de distribution au réseau urbain, je crois qu'on n'y verra pas de grands

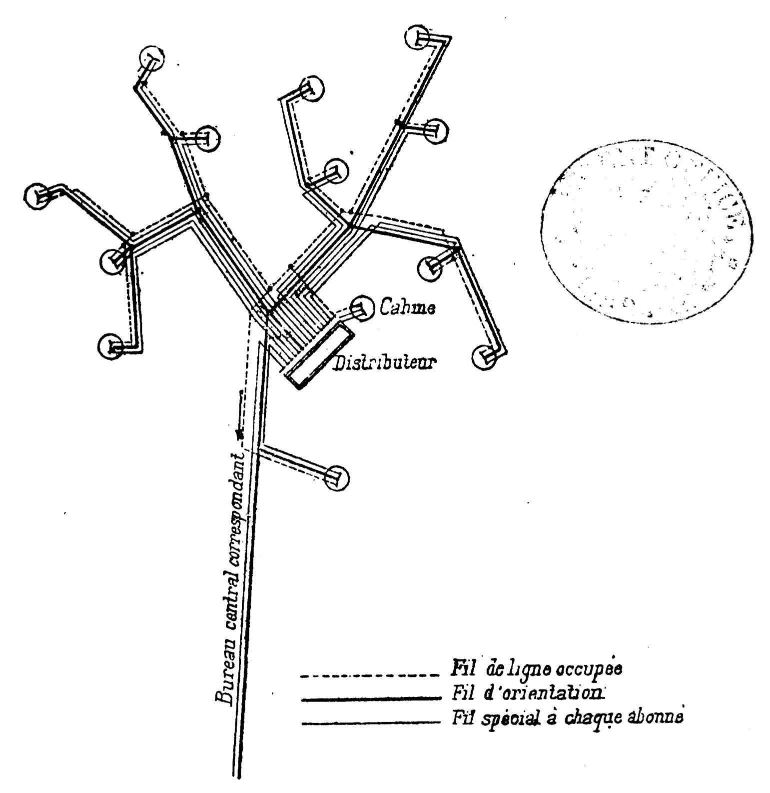
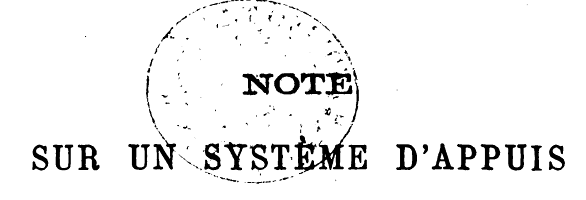


Fig. 5. — Réseau de douze abonnés avec cabine publique.

inconvénients; les poteaux de lignes télégraphiques devant d'ailleurs être utilisés dans bien des cas, cette disposition devient une nécessité.

G. RAMBAUD,
Ingénieur des télégraphes.



NOTE SUR UN SYSTÈME D'APPUIS

POUR LES RÉSEAUX TÉLÉPHONIQUES

Nature des conducteurs à employer. — Ceux-ci doivent être placés sur les toits et constitués en fils de bronze.

L'importance des nappes qui sillonneraient les rues de la ville dans les différentes directions ne permet pas, en effet, de les placer le long des façades des maisons qui en seraient masquées comme par des écrans.

L'emploi des fils d'acier sur les toits, où ils sont exposés aux fumées corrosives, a permis d'assigner à ces fils une durée variant de deux à huit ans; le métal s'oxyde avec rapidité; l'on peut même constater sur les toitures, au-dessus desquelles ils passent, une traînée brunâtre résultant des parcelles d'oxyde de fer tombées sur elles et c'est par poignées que l'on ramasse l'oxyde dans certaines gouttières.

Des fils de bronze placés sur les mêmes appuis semblent au contraire, au bout de six à huit ans, n'avoir encore subi aucune détérioration.

On admet généralement que ces fils ne sauraient en aucun cas être d'un diamètre supérieur à $15/10^e$ de millimètre et c'est d'après cette hypothèse que nous examinerons le genre d'appuis qu'il convient d'employer.

Appuis.

Appuis en bois. — Nous écarterons tout d'abord le système des appuis en bois, pour nous attacher aux appuis en fer. Les premiers sont, en effet, pesants et disgracieux. Leur durée semble ne pas devoir dépasser une douzaine d'années, ils sont sujets à se gondoler, à se crevasser, ils ne sauraient affecter la forme de

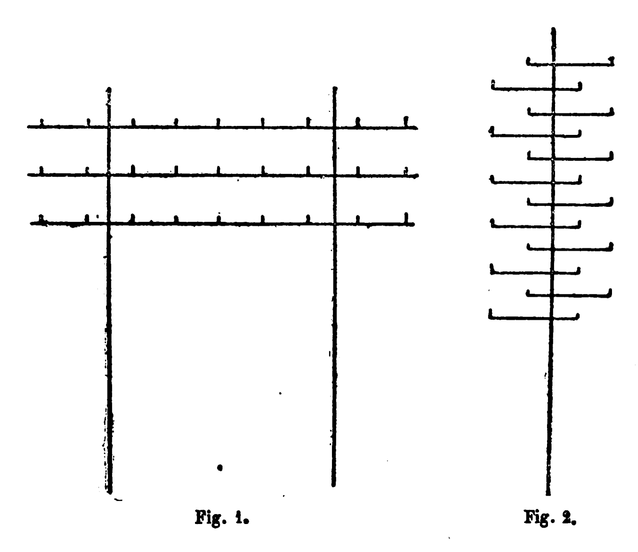


Fig. 1. Fig. 2.

poteaux et ces nombreux inconvénients compensent largement, si elle existe, une légère économie dans les frais de premier établissement.

Appuis en fer. — L'appui en fer est constitué, soit par des appuis verticaux supportant des traverses horizontales qui reçoivent des isolateurs, c'est la herse, soit par des poteaux armés avec isolateurs sur consoles courbes et longues.

Comparaison entre la herse et le poteau. — En

adoptant 30 centimètres pour écartement des fils, une herse, avec traverse de 2^m,60, reçoit 9 fils par traverse et l'on place 40 isolateurs sur un poteau armé sur une longueur de 2^m,75.

Le nombre des traverses d'une herse ne pouvant pratiquement dépasser 9, 80 fils trouvent place sur une herse; deux poteaux à 40 fils chacun et réunis par deux entretoises permettent d'arriver au même chiffre.

Aussi préférons-nous de beaucoup le système de construction en poteaux au système de construction en herse; la herse ne paraît en effet présenter sur le poteau que l'avantage d'une capacité plus grande et nous venons de voir, que si dans une direction donnée le nombre des fils à installer vient à dépasser 40, il suffit de placer un deuxième poteau à côté du premier et alors, sans qu'il soit nécessaire d'apporter de modifications aux fils préexistants, le nombre des conducteurs est porté à 80.

Les avantages du poteau sur la herse sont au contraire les suivants :

Un toit étant imposé par sa situation pour recevoir un appui, la pose d'une herse n'est pas toujours facile; elle nécessite souvent, par suite de la disposition du faitage ou du pignon, des montants d'une hauteur exagérée, ou bien oblige à donner aux traverses une orientation s'écartant beaucoup de la position à prendre naturellement par rapport aux nappes de fils; le poteau, au contraire, qui prend un seul point d'appui sur le toit ou le pignon, peut, à volonté, être tourné de façon que les isolateurs se trouvent dans le plan bissecteur des nappes aboutissant à l'appui et de plus profiter d'un point saillant sur lequel il serait matériellement impossible d'installer une herse.

Sur une herse, le faisceau des fils s'augmente par une série de nappes horizontales, tandis que pour le poteau on procède par une série de nappes verticales; il en résulte qu'un faisceau de 15 fils, aussi bien qu'un de 35, prend un développement horizontal de $2^m,50$ sur des herses, alors que sur poteaux ce développement n'est que de 35 ou 80 centimètres. On passera donc bien plus facilement avec des poteaux au milieu du dédale des cheminées et des girouettes qui se dressent entre deux appuis consécutifs.

Avec des poteaux, l'on multiplie le nombre des faisceaux qui partent du poste central; l'on dessert, par suite, les abonnés avec des lignes de moindre longueur, et surtout les dérivations allant chez chacun d'eux sont moins importantes; si d'ailleurs dans une direction donnée la multiplicité des points d'appui est pour une cause ou une autre un inconvénient, en accouplant les poteaux, comme il a été dit, on se trouvera dans les conditions d'installation des herses.

Sur un poteau les remaniements de fils sont plus aisés que sur une herse.

Enfin, depuis la tourelle jusqu'aux extrémités du réseau, dans le cas de l'adoption exclusive des poteaux, les faisceaux de fils sont toujours composés de nappes qui peuvent conserver la forme de plans verticaux, et ne sont pas obligées d'affecter celle de surfaces gauches.

Et si maintenant nous envisageons la question du prix de revient, l'avantage reste encore au poteau.

	HERSE	POTEAU
Pour 20 fils	176^f, dont 25 fr. de main-d'œuvre	60^f, dont 10 fr. de main-d'œuvre
40	203	60
80	230	130

Nous concluons donc à l'adoption exclusive du poteau.

Constitution du poteau. — Les poteaux se com-

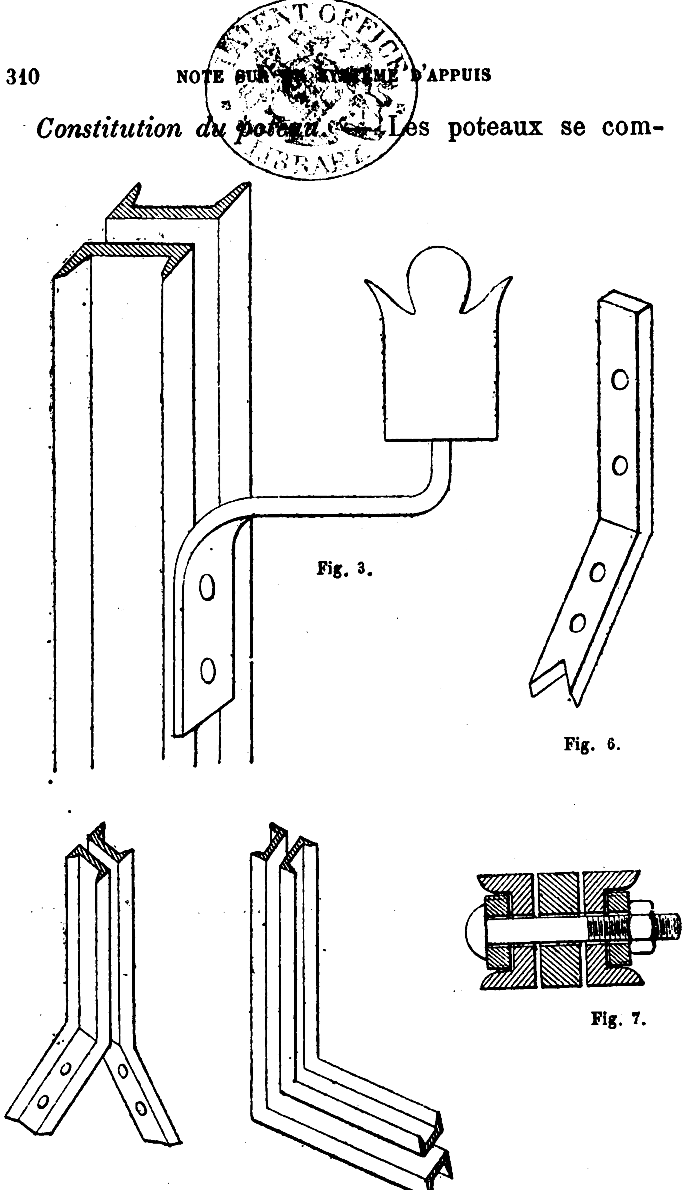


Fig. 3. Fig. 6. Fig. 7.

Fig. 4. Fig. 5.

posent de deux fers en U se tournant le dos et écartés

à 2cm,5 l'un de l'autre, ayant comme dimensions 5cm/2cm et pesant chacun 4kg,2 le mètre; c'est un modèle courant revenant tout façonné de 0f,50 à 0f,55 le kilogramme. Les isolateurs des modèles 25/11 et 25/12 sont maintenus par la pression de boulons dont les tiges passent entre les deux fers en U; cette disposition ne nécessite pas le percement toujours coûteux de trous, n'affaiblit pas les fers et, de plus, permet, sans difficultés, le déplacement des isolateurs et leur pose à des hauteurs et avec des écartements variables.

Les poteaux prennent leur point d'appui, soit sur la charpente, soit dans un pignon ou un mur de refend. Il est évidemment facile de travailler les fers en U et soit de plier leur partie inférieure en forme de patins, soit de la disposer pour un scellement en la courbant à angle droit, soit de les tordre. Mais il est préférable de faire usage de fers méplats, de formes variables, appelés éperons, sur lesquels on boulonne des poteaux *omnibus*, qui ne diffèrent entre eux que par leur longueur. On a ainsi des lignes plus élastiques au point de vue des extensions ultérieures et d'une construction plus aisée.

Fig. 8.

L'éperon est fixé sur la charpente, ou scellé dans un mur; il se termine invariablement par un fer méplat de

50/22 millimètres sur $0^m,25$ de hauteur, qu'enchâssent les deux fers du poteau, et dont ils sont rendus solidaires par deux boulons; deux plaques de serrage sont disposées sous le boulon qui, mis en place, est encore en saillie sur les deux nervures du fer en U et peut dès lors facilement être serré ou desserré à la clé à molette.

Les poteaux sont consolidés par la pose d'arcs-boutants en fers à T ou de tirants en fers ronds; ces derniers devant être employés de préférence quand l'état des lieux se prête aux deux combinaisons.

Les croquis ci-contre donnent le détail de ces pièces accessoires indispensables.

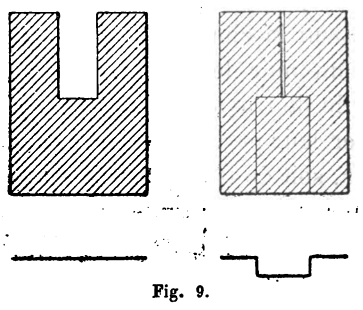


Fig. 9.

Suivant que le poteau se garnit et que les fils vont dans telle ou telle direction, le point d'attache du tirant sur le poteau est abaissé ou le patin déplacé sur le toit. Cette opération, qui donne lieu à une main-d'œuvre insignifiante, s'effectue en même temps que les remaniements de fils.

Une feuille de zinc, disposée, par exemple, comme il est indiqué ci-contre, pour un patin, préserve le toit de toute infiltration.

Le prix de revient d'un potelet de 4 mètres peut s'établir comme il suit :

1 éperon de . . . . 5 à	8f,00
1 poteau de 4 mètres, 34 kilog. à 0f,55.	18 ,70
Main-d'œuvre (demi-journée d'un chef d'équipe, 2 ouvriers commissionnés et une journée de temporaire, couvreur de son état	10 ,00
Menus frais (zinc, soudures, mastic, tuiles et ardoises et peinture de l'appui) au maximum	10 ,30
Un tirant de 3 à 4 mètres, de 11 francs à 14f,20. . .	12 ,70
	60f,00

Certaines constructions légères et ne comportant ni murs de refend, ni pignons solides, ni pièces de char-

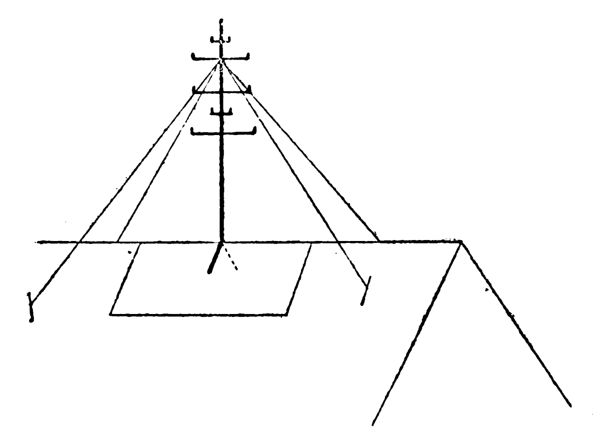


Fig. 10.

pente suffisantes, ne permettraient pas le mode d'installation qui vient d'être décrit. Il convient alors de placer sur le faîtage une selle en bois de 2 mètres de long environ; en son milieu est fixé un éperon sur lequel on boulonne le poteau; quatre haubans en fil de fer assurent la stabilité du système.

Chalons, le 20 août 1889.

E. Massin.



NOTE

L'UTILISATION DES FILS TÉLÉPHONIQUES

POUR LA TÉLÉGRAPHIE

Lorsqu'un circuit téléphonique est d'une très grande longueur, comme le circuit Paris-Marseille, par exemple, on rencontre parfois de sérieux obstacles à l'utilisation individuelle, mais simultanée pour la télégraphie de chacun de ses conducteurs.

Dans l'installation adoptée en France et représentée par le schéma ci-contre, ces difficultés sont attribuées

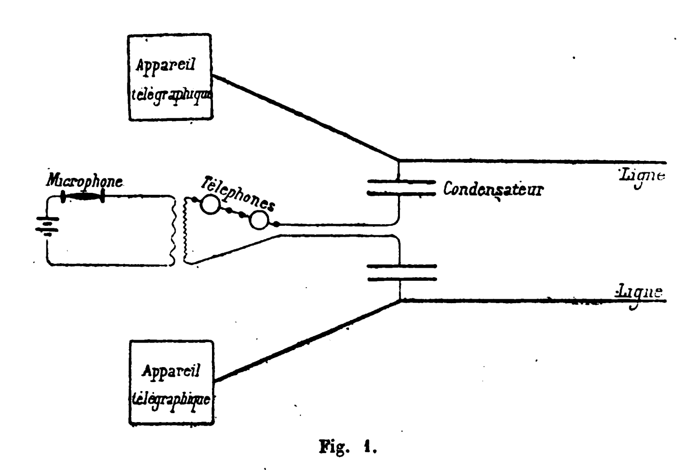


Fig. 1.

aux courants de charge et de décharge qui dérivent par les condensateurs-séparateurs et viennent action-

ner le récepteur télégraphique du conducteur voisin.

On sait comment on peut tourner cet obstacle : entre les deux condensateurs on intercale un transformateur dont le circuit secondaire est mis à la terre en son milieu. Il s'ensuit que les courants, qui viennent de

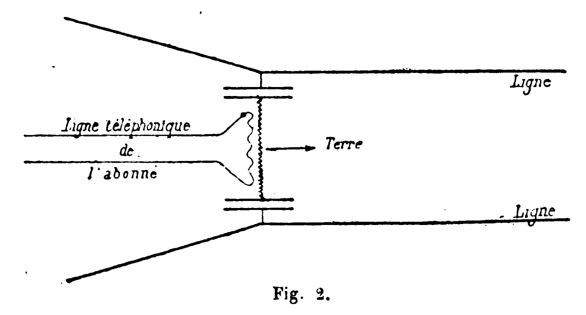


Fig. 2.

l'un des fils par le condensateur correspondant, sont dérivés à la terre et ne peuvent plus passer sur l'autre fil.

Malheureusement, l'intermédiaire du transformateur a pour effet d'affaiblir en général l'intensité des sons transmis; cet inconvénient n'est peut-être pas bien sérieux sur des lignes courtes, mais il devient plus grave sur des lignes comme celle de Paris à Marseille.

Il est cependant facile d'éviter l'emploi d'un transformateur en mettant directement à la terre le milieu du fil secondaire de la bobine d'induction qui fait partie de l'appareil de l'abonné. Il est bien entendu que l'on doit faire subir une opération analogue aux appareils et appels phoniques des postes centraux.

De cette façon les courants, venant d'un fil par l'intermédiaire du condensateur correspondant, vont se perdre à la terre de l'appareil téléphonique; et, en même temps, l'inconvénient du transformateur est évité.

Il importe de remarquer, en outre, qu'il y aura tout avantage à disposer symétriquement par rapport à la

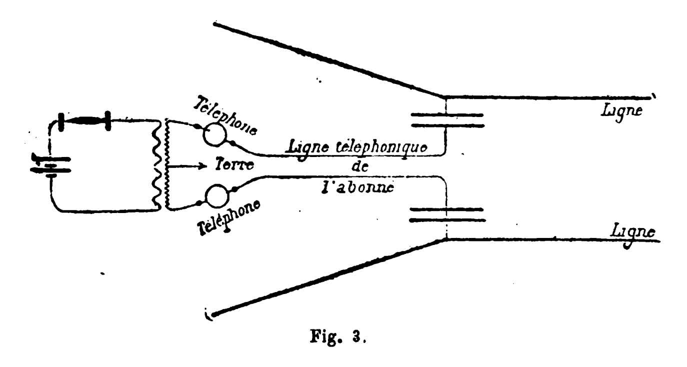


Fig. 3.

bobine d'induction les récepteurs de l'abonné, au lieu de les mettre tous les deux du même côté, comme on le fait d'habitude (voir *fig.* 3).

Cas des appareils télégraphiques rapides.

Ce qui précède suppose implicitement que les courants télégraphiques émis sur chaque fil sont anti-inductés par le procédé Van Rysselberghe. Mais on sait que les anti-inducteurs de ce système entraînent un ralentissement dans la propagation des signaux télégraphiques, et nuisent d'une façon sensible au fonctionnement régulier des appareils rapides, tel que le *Baudot.*

Quoi qu'il en soit, on a voulu tirer un meilleur parti de la ligne en employant, pour un seul appareil télégraphique, les deux conducteurs de la boucle téléphonique associés en quantité. (Voir la *fig.* ci-après.)

On s'est dit, en effet, que, si cela se pouvait, il serait préférable de mettre, par exemple, un *Baudot* quadruple en service sur les deux fils associés, comme

l'indique la figure, que d'employer un Hughes sur chacun des deux fils.

Dans cette disposition, les émissions télégraphiques amorties par la self-induction des bobines anti-inductrices et équilibrées par les résistances de ces mêmes bobines ne produisent aucun bruit dans l'appareil té-

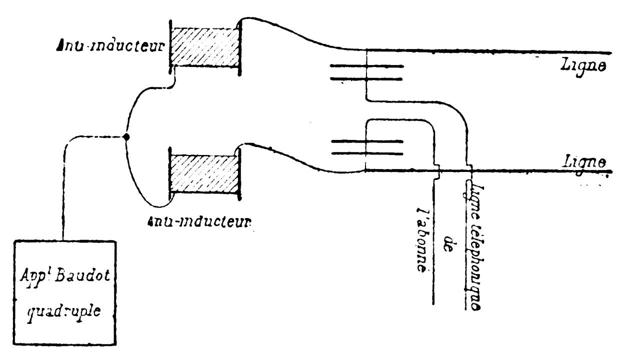


Fig. 4.

léphonique qui se trouve sur la diagonale d'un pont de Wheatstone convenablement réglé. De plus, les courants téléphoniques ondulatoires qui tendraient à dériver par les bobines sont obstrués par la self-induction de celles-ci.

Pour justifier complètement cette installation d'un appareil rapide, il importe d'ajouter que les antiinducteurs employés peuvent avoir un coefficient de self-induction bien moins élevé que dans le cas, examiné précédemment, d'un appareil télégraphique ordinaire sur chaque fil : car les effets de ces deux bobines s'ajoutent pour s'opposer à la dérivation du courant téléphonique.

Toutefois l'influence fâcheuse des anti-inducteurs,

au point de vue de la vitesse des transmissions, n'en subsiste pas moins, quoique amoindrie.

La disposition, que j'indique ci-après, a été combinée en vue d'éviter cet inconvénient et d'augmenter, par suite, le rendement de la ligne.

Plaçons sur la ligne une bobine d'induction à circuits égaux et disposés de telle sorte :

1° Que chacun d'eux forme le prolongement de l'un des fils de ligne;

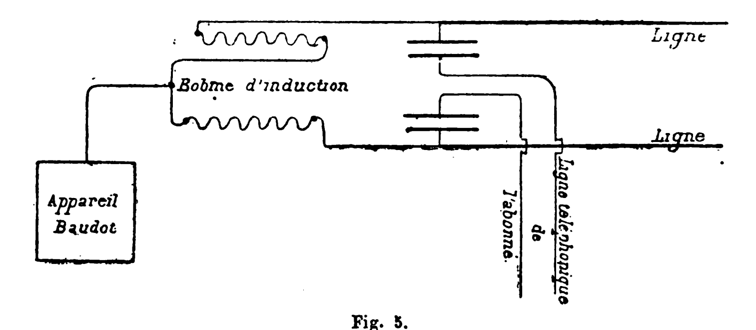


Fig. 5.

2° Que les courants télégraphiques, se partageant en parties égales dans chacun d'eux, les parcourent en sens inverse par *rapport à l'axe de la bobine.*

Le champ magnétique résultant sera nul, et, comme dans une bobine de résistance ordinaire, il n'y aura pas d'effet d'induction sensible par le fait de la propagation du courant télégraphique dans cette bobine : donc pas de ralentissement dans les transmissions.

Si maintenant l'on suppose un courant ondulatoire venant de l'appareil téléphonique par l'intermédiaire des condensateurs dans la bobine auxiliaire décrite ci-dessus, on voit que le sens du courant qui tend à s'y propager est le même par rapport à l'axe dans les deux fils de la bobine, et que, contrairement aux émis-

sions de l'appareil télégraphique, ce courant sera obstrué comme si l'on avait placé en ce point une bobine ordinaire à forte self-induction.

En un mot, on empêche ainsi les courants téléphoniques de dériver par la partie du circuit placée en avant des condensateurs, sans opposer d'obstacle aux émissions télégraphiques d'un appareil à grande vitesse.

M. Cailho.



NOTE SUR LE THÉORÈME DE THÉVENIN

M. Thévenin a démontré dans ce recueil (*) le théorème suivant :

Si deux points A *et* A′ *à des potentiels* V *et* V′, *et faisant partie d'un système de conducteurs linéaires parcourus par des courants électriques, sont réunis par un conducteur de résistance* r, *l'intensité* i *qui circulera dans ce dernier conducteur peut s'exprimer simplement en fonction de la différence* $V - V'$ *des potentiels primitifs par la formule*

$$i = \frac{V - V'}{R + r},$$

dans laquelle R *représente la résistance du système primitif mesurée entre les points* A *et* A′ *considérés comme électrodes.*

Ce théorème peut encore être démontré très simplement par la méthode suivante que je crois devoir indiquer, parce qu'elle s'applique à d'autres cas particuliers et qu'elle permet d'établir des formules analogues, faciles à retenir et non moins utiles dans la pratique.

Voici la démonstration :

Si nous réunissons les points A et A′ par un conducteur de résistance r, les potentiels de ces points changent et deviennent respectivement V_1 et V'_1. Dans la résistance r circule un courant d'intensité i emprunté

(*) *Annales télégraphiques* mai-juin **1883**, **p. 222**.

au système primitif : il en résulte dans ce système, aux points A et A′, une chute de potentiel ou *perte de charge* égale à R*i*.

Nous avons donc

$$(1) \qquad V - V' - (V_1 - V'_1) = Ri.$$

D'ailleurs dans le conducteur *r* nous avons

$$(2) \qquad V_1 - V'_1 = ri.$$

En additionnant membre à membre les équations (1) et (2), on arrive à la formule annoncée.

$$i = \frac{V - V'}{R + r}.$$

L'emploi de cette même méthode de démonstration permet de trouver ce que devient la formule ci-dessus dans le cas où la résistance *r* contient une force électro-motrice *e*.

Supposons, pour fixer les idées, que la force électro-motrice *e* soit d'un sens tel qu'elle s'oppose au courant venant de A et A′. La différence de potentiel des points A et A′ est tombée de $V - V'$ à $V_1 - V'_1$, et la différence $V - V' - (V_1 - V'_1)$ est positive ; elle est d'ailleurs égale à R*i* comme dans le cas précédent. On a donc

$$(3) \qquad V - V' - (V_1 - V'_1) = Ri.$$

D'un autre côté, la différence actuelle des potentiels en A et A′ est devenue égale à la force électro-motrice *e* augmentée de la perte de charge *ri* due à la résistance *r* de la branche mise en dérivation. On écrira donc

$$(4) \qquad V_1 - V'_1 = e + ri,$$

et, par suite, en additionnant (3) et (4) membre à

membre

$$V - V' = e + (R + r)i;$$

d'où, finalement :

$$i = \frac{V - V' - e}{R + r}.$$

Si la force électromotrice e est de sens contraire à celui que nous avons supposé, il suffira de remarquer que le courant i sera de sens contraire et exprimé en valeur absolue par la formule

$$i = \frac{e - (V - V')}{R + r}.$$

Corollaire I. — Si l'on suppose négligeable la résistance r, on trouve la relation

$$I = \frac{V - V'}{R}.$$

Dans ce cas I représente la somme des intensités des courants qui seraient fournis à un conducteur de résistance nulle mis en dérivation de A en A′ par les divers circuits aboutissant en ces deux points ; et, si l'on écrit l'équation précédente sous la forme

$$V - V' = RI,$$

on peut énoncer la proposition suivante :

La différence de potentiel entre deux points quelconques A *et* A′ *d'un système de conducteurs linéaires est égale à la résistance de ce système mesurée entre les points* A *et* A′, *considérés comme électrodes, et multipliée par l'intensité du courant qui circulerait dans un conducteur de résistance nulle réunissant les deux points considérés.*

Ce corollaire peut, d'ailleurs, être démontré directement, comme le théorème ci-dessus.

En effet, les deux points A et A′ étant reliés par un conducteur de résistance négligeable, leur différence de potentiel est devenue nulle, de sorte que la perte de charge en AA′ est égale à V — V′, et celle-ci est elle-même égale à RI. On a donc

$$V - V' = RI. \qquad (4)$$

Corollaire II. — La différence de potentiel primitive de A en A′ étant donnée par l'expression ci-dessus, on a, en portant cette expression dans la formule de Thévenin

$$i = \frac{R}{R + r} I. \qquad (5)$$

Si donc l'on prend dans un système quelconque un point où circule un courant I, qu'on ouvre le système en ce point pour y intercaler une résistance r, la formule précédente donnera l'intensité nouvelle i du courant qui se propagera dans la branche intercalée.

On obtient ainsi, *en fonction du courant primitif, l'intensité du courant dans une branche intercalée en série, de même qu'on avait en fonction de la différence primitive de potentiel l'intensité du courant dans une branche placée en dérivation de* A *en* A′.

L'expression (5) peut s'écrire sous une autre forme. On a encore, en effet

$$i = \frac{Rr}{R + r} \frac{I}{r}$$

ou

$$i = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}} \frac{I}{r}.$$

Or $\frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}$ représente la nouvelle résistance du sys-

tème mesurée entre les points A et A′ après l'intercalation de la branche r; désignons-la par R′, et nous aurons

$$i = \frac{R'}{r} I.$$

Corollaire III. — Ce corollaire est une conséquence immédiate du premier.

Si l'on considère dans un système quelconque de conducteurs linéaires un point où l'intensité est I, et qu'on ouvre le circuit en ce point, *la différence de potentiel aux deux extrémités de l'ouverture ainsi pratiquée est égale au produit de l'intensité* I *par la résistance du système modifié et mesurée entre les extrémités de l'ouverture considérées comme électrodes.*

Cet énoncé est une simple interprétation de la formule (4) $V - V' = RI$.

Cas particulier du corollaire I. — Si nous prenons un système composé de conducteurs linéaires partant tous d'un point A pour aboutir à un même point A′, ces conducteurs ayant des résistances respectivement égales à r_1, r_2, r_3,..., r_n, et renfermant des forces électromotrices e_1, e_2, e_3,..., e_n; on aura encore, comme dans le corollaire I

$$V - V' = RI;$$

mais dans ce cas R et I peuvent s'exprimer simplement en fonction des données du système.

R est, en effet, égal à $\dfrac{1}{\sum \frac{1}{r}}$, et, les deux points A et A′ étant réunis par une résistance nulle, I repré-

sente la somme des intensités des courants qui circuleraient dans chacun des fils pris à part et fermé sur lui-même ; c'est-à-dire que l'on a

$$I = \sum \frac{e}{r}.$$

Finalement, on pourra poser

$$(6) \qquad V - V' = \frac{1}{\sum \frac{1}{r}} \sum \frac{e}{r}.$$

En langage ordinaire : *La différence de potentiel entre deux points* A *et* A', *d'où partent tous les fils d'un même système de conducteurs, est égale au produit de la résistance du système mesurée entre ces deux points par la somme des intensités qui circuleraient dans chacun des fils fermé sur lui-même.*

Il s'ensuit que l'on pourra exprimer facilement l'intensité actuelle dans une quelconque des branches du système

$$i_m = \frac{e_m - (V - V')}{r_m}.$$

La formule (6) peut être retrouvée directement; M. P. Samuel en avait déjà indiqué une démonstration dans la *Lumière électrique*, décembre 1888.

Voici une méthode relativement simple pour établir cette relation, dans le cas particulier qui nous occupe, et en fonction des données du système que l'on suppose connu dans toutes ses parties.

Si l'on considère chacune des dérivations qui partent des points A et A' de potentiels V et V', on voit que

$$V - V' = e_1 - i_1 r_1 = e_2 - i_2 r_2 = \ldots = e_n - i_n r_n,$$

ce qui peut s'écrire

$$-V' = \frac{\frac{e_1}{r_1} - i_1}{\frac{1}{r_1}} = \frac{\frac{e_2}{r_2} - i_2}{\frac{1}{r_2}} = \ldots = \frac{\frac{e_n}{r_n} - i_n}{\frac{1}{r_n}};$$

et, par suite,

$$V - V' = \frac{\sum \frac{e}{r} - \sum i}{\sum \frac{1}{r}}.$$

Mais ici $\Sigma i = 0$, puisque tout les fils partent du même point A et aboutissant tous au point A'; on a donc bien

$$V - V' = \frac{1}{\sum \frac{1}{r}} \sum \frac{e}{r}.$$

M. CAILHO.

RÉPULSIONS ET ROTATIONS ÉLECTRODYNAMIQUES(*)

EXPÉRIENCES DE M. ÉLIHU THOMSON

Les actions des courants sur les courants ont été découvertes par Ampère en 1820, peu de temps après l'expérience fondamentale d'Œrstedt; l'illustre physicien français en a résumé toutes les lois dans une formule classique qui porte son nom, et qui permet de prévoir le sens de l'action et la grandeur de cette action pour deux courants de formes quelconques, ainsi que l'action d'un courant sur lui-même.

Ampère avait cependant laissé de côté, et pour cause, un cas des plus intéressants, celui de l'action de deux courants dont le second est induit par le premier, puisqu'à l'époque de ses recherches l'induction n'existait pas. Même après la découverte de Faraday, en 1830, la question était restée entière, et ces effets particuliers ne furent étudiés pour la première fois qu'en 1884, lorsque M. le professeur Elihu Thomson, des États-Unis, les découvrit.

Depuis cette époque, il les étudia, les étendit, et réussit, grâce aux machines à courants alternatifs dont l'emploi est aujourd'hui si répandu, à les réunir en un faisceau d'expériences des plus intéressantes, qui ont fait l'admiration des savants et l'étonnement des nombreux visiteurs fréquentant la galerie des Arts libéraux, à l'Exposition universelle.

(*) Extrait de la *Nature*, 3 août 1889.

Nous nous proposons de décrire aujourd'hui les plus intéressantes et les plus frappantes de ces expériences, réservant pour un article ultérieur un certain nombre d'applications à l'étude ou déjà réalisées, et qui montrent bien que ces travaux ont une valeur pratique au moins aussi grande que l'intérêt de curiosité qu'ils présentent.

Examinons tout d'abord le principe général sur lequel ces expériences sont fondées. Lorsqu'un noyau de fer est entouré d'une bobine traversée par des courants alternatifs, il s'aimante périodiquement dans un sens et dans l'autre, et produit un flux de force magnétique qui, partant de zéro, augmente, passe par un maximum, décroît, redevient nul, change de signe et repasse par les mêmes phases, mais en sens inverse.

Avec des machines à courants alternatifs appropriées, ces flux de force alternés peuvent changer très rapidement de sens, jusqu'à deux et trois cents fois par seconde.

Si l'on dispose devant ce noyau de fer un anneau en cuivre dont le plan est parallèle aux spires magnétisantes (*fig.* 1), le flux variable traversant cet anneau induira des courants énergiques intenses, et ces courants développeront, si l'on maintient l'anneau en place pendant quelques minutes, une quantité de chaleur suffisante pour élever la tem-

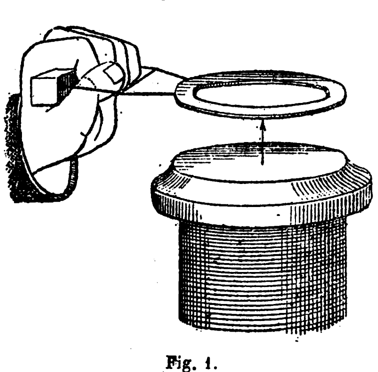


Fig. 1.

pérature de l'anneau au point que celui-ci ne puisse plus être tenu à la main. La loi de Lenz nous apprend que les courants induits devront être de sens tel à chaque instant, qu'ils s'opposent à la variation du flux de force produit par la bobine primaire ou inductrice. Réduit à ce simple phénomène, le courant induit serait décalé par rapport au courant inducteur d'un quart de période, et, dans ces conditions, la somme des attractions serait précisément égale à la somme des répulsions : il n'y aurait aucune action attractive ou répulsive entre les deux circuits, par raison de symétrie. En fait, il n'en est pas ainsi parce que le courant induit dans le circuit secondaire s'oppose à son propre établissement, en vertu du phénomène connu sous le nom de *self-induction*. Le courant induit résultant se trouve retardé ou décalé d'une certaine fraction de la période, et la symétrie n'existe plus. La somme des attractions est alors inférieure à la somme des répulsions : la répulsion devient prédominante, suffisante même pour que l'anneau se trouve maintenant suspendu dans l'espace contre les forces excercées par la pesanteur. Cette répulsion est si énergique, qu'il est matériellement impossible de poser l'anneau ou un disque de cuivre sur le noyau de fer ou, plutôt, sur la console dans laquelle ce noyau est dissimulé et de l'abandonner à lui-même ; et ce n'est pas un faible étonnement que de voir s'échapper par la tangente tous ces objets déposés sur la tablette et qui refusent énergiquement d'y rester dès qu'on les abandonne à eux-mêmes.

La *fig.* 2 montre une variante de cette expérience : en enfilant un anneau de cuivre sur le noyau périodiquement aimanté par le courant alternatif, jusque vers le milieu de sa longueur, cet anneau abandonné à lui-

même saute verticalement et s'élève jusqu'à 40 centimètres au-dessus du noyau de fer.

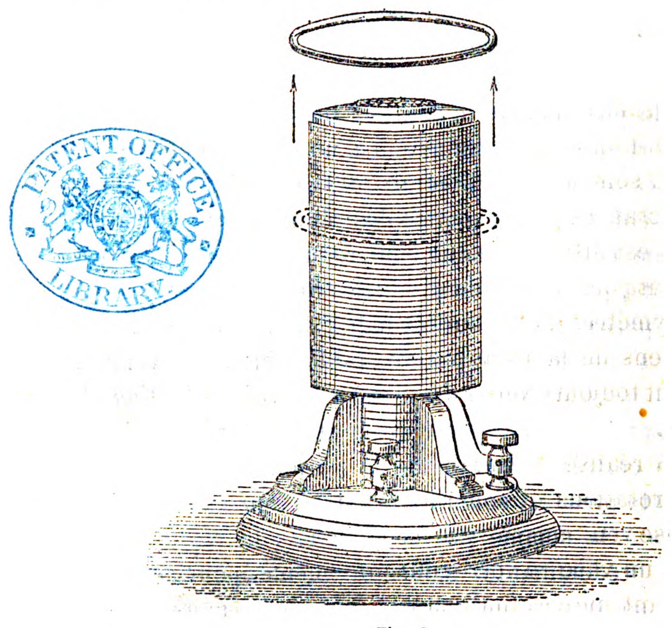


Fig. 2.

Ces expériences ne mettent en jeu que des répulsions électro-dynamiques : on peut compliquer le phénomène et produire des rotations très curieuses en rendant le champ dyssymétrique. A cet effet, on place sur le noyau de fer un demi-disque de cuivre qui en couvre juste la moitié. Les courants induits dans ce disque, jouent le rôle de véritables écrans magnétiques supprimant presque complètement tout le flux de force magnétique dans la région placée au-dessus de lui. En disposant au-dessus du noyau de fer, dans la région où le champ magnétique périodique a été partiellement supprimé, un disque de cuivre monté sur un pivot, ce

disque est repoussé dans la région où le flux est le plus intense : il s'incline et prend un mouvement de rotation rapide autour de son axe vertical (*fig.* 3).

Le même phénomène de rotation se produit aussi avec un appareil inducteur ayant un noyau plus petit, placé sur une seule moitié du disque (*fig.* 4) en ayant soin de disposer un écran dont un des côtés est disposé radialement pour produire la dyssymétrie du champ. Le sens de la rotation se fait toujours vers l'écran.

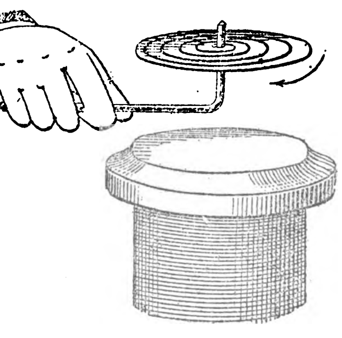


Fig. 3.

On réalise à la fois des rotations et des répulsions à l'aide d'une sphère creuse en cuivre placée dans un vase en verre renfermant une certaine quantité d'eau (*fig.* 5). La sphère est repoussée et prend en même temps un mouvement de rotation rapide sans que les personnes non initiées aux phénomènes d'induction puissent se l'expliquer.

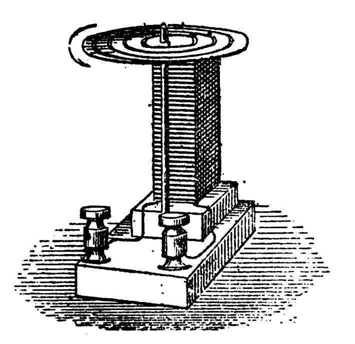


Fig. 4.

La même sphère de cuivre placée sur la console, le demi-disque écran, étant, bien entendu, dissimulé dans le couvercle, se livre sur cette plate-forme à des mouvements variés, rotations, arrêts et déplacements, dont la diversité tient aux positions relatives de l'é-

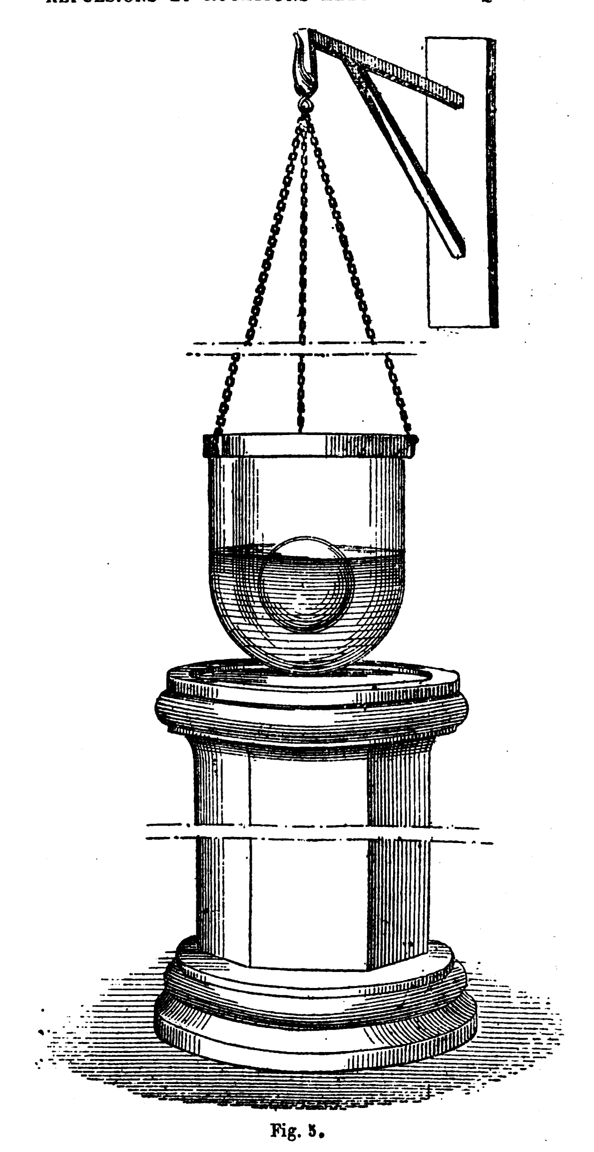


Fig. 5.

cran, du noyau de la sphère et du plan sur lequel

elle évolue (*fig.* 6). On peut aussi faire tourner la sphère sur place et sur elle-même en la posant sur un rectangle en cuivre formant écran, sur lequel on a

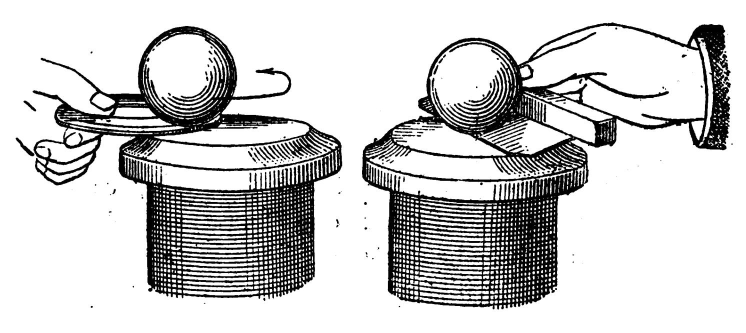


Fig. 6. Fig. 7.

ménagé une petite cavité de forme sphérique dans laquelle la partie inférieure de la boule vient se loger sans que les répulsions soient assez énergiques pour l'en faire sortir.

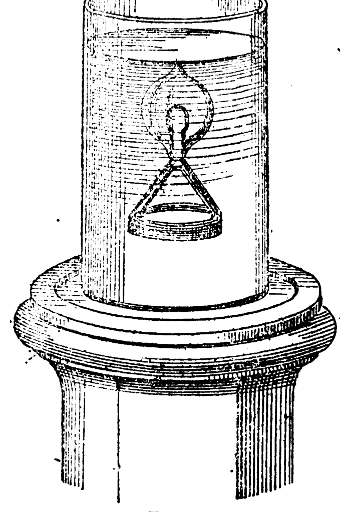


Fig. 8.

Une dernière expérience, et ce n'est pas la moins curieuse, met à la fois en évidence les phénomènes de répulsion et d'induction d'une manière frappante.

L'anneau de la *fig.* 1 est remplacé par une petite bobine annulaire de fil isolé dont les extrémités sont reliées au filament d'une lampe à incandescence (*fig.* 8). Le tout est mis dans un vase rempli d'eau disposé au-dessus du

système inducteur. En envoyant le courant alternatif dans cet inducteur, la lampe à incandescence s'illumine aussitôt, tandis que, sous l'influence des répulsions électro-dynamiques, elle tend à remonter à la surface et s'arrête dans une position intermédiaire telle que la répulsion, plus la poussée hydrostatique, équilibre le poids de la lampe et de la bobine. Cette lampe s'illuminant dans l'eau, sans communication extérieure apparente, est une des plus jolies expériences et des plus frappantes que l'on puisse réaliser, pour montrer les phénomènes d'induction à distance et leur transmissibilité à travers la plupart des milieux.

E. Hospitalier.



EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

NOTICE SUR L'APPAREIL MUNIER

Depuis que les procédés de la télégraphie multiple sont passés dans le domaine de la pratique, beaucoup d'inventeurs ont essayé de les appliquer à l'appareil Hughes. La plupart ont rencontré des difficultés dont ils n'ont pas su triompher. M. Munier, qui appartient à l'administration des télégraphes français, s'est livré depuis de longues années à l'étude de ce problème et en a présenté différentes solutions. Ses premiers essais datent de 1874. Depuis lors, il a travaillé la question avec une rare persévérance, perfectionnant continuellement son œuvre en lui faisant subir une série de transformations judicieuses.

En 1883, il soumettait à l'administration un projet qui attira vivement l'attention. Les lecteurs des *Annales* en ont certainement lu avec intérêt la description donnée par M. Godfroy dans les numéros de septembre-octobre 1886 et mai-juin 1887. L'organe essentiel du système auquel M. Munier donnait le nom de *compensateur* emmagasinait le signal produit par le déclenchement de l'armature de l'électro-aimant et le faisait traduire au moment opportun par les organes d'impression. Cette solution élégante

du problème donna lieu, en pratique, à des difficultés. L'inventeur, travaillant alors dans un autre ordre d'idées, a transformé complètement son appareil pour arriver, en dernier lieu, au type que l'on a pu voir, à l'Exposition universelle de 1889, dans le pavillon de l'administration des postes et des télégraphes.

C'est ce dernier type dont nous nous proposons d'indiquer le fonctionnement en en faisant connaître les principaux organes.

L'appareil exposé est un appareil quadruple.

Comme dans tous les appareils multiples, fondés sur le principe de la division du temps, la ligne aboutit à ses deux extrémités à des distributeurs tournant synchroniquement.

Formation des signaux au départ. — Supposons, pour un instant, que le nombre des signaux à transmettre soit seulement de six, au lieu de vingt-huit comme dans l'appareil Hughes. En affectant trois secteurs successifs du distributeur à chaque appareil et en se servant de courants tantôt positifs, tantôt négatifs, on aurait une transmission multiple très simple. Le premier signal se ferait par l'émission d'un courant négatif à travers le secteur n° 1, le second par l'émission d'un courant positif à travers le même secteur et ainsi de suite. A l'arrivée, les trois secteurs correspondants du distributeur communiqueraient avec six relais, deux relais étant reliés à un même secteur et fonctionnant l'un sous l'influence des courants positifs, l'autre sous l'influence des courants négatifs.

En réalité, la fraction du distributeur correspondant à chaque appareil comprend cinq secteurs ou plots au lieu de trois, sans parler des plots de décharge dont nous parlerons plus tard. De ces cinq plots trois ser-

vent au passage des courants qui actionnent les relais dans les conditions indiquées précédemment. Les deux autres, qui sont rencontrés les premiers par les balais des distributeurs, servent au passage des courants soit positifs, soit négatifs qui doivent actionner quatre électro-aimants appelés clefs reliés deux à deux à chacun des plots et fonctionnant pour des courants de sens contraire. Il est clair qu'en plus des six signaux nouveaux que l'on peut former par l'émission d'un seul courant, on peut, par cette disposition, en former vingt-quatre par l'émission de deux courants, en combinant les six émissions des plots de relais avec les quatre émissions différentes des plots de clefs. On peut donc transmettre en tout trente signaux différents formés soit de une, soit de deux émissions de courant. Il suffira, parmi les trente combinaisons que l'on peut obtenir, d'en choisir vingt-huit pour pouvoir reproduire tous les signaux de l'appareil Hughes.

Le tableau suivant indique quelles sont les combinaisons correspondant à chacune des lettres à transmettre :

		PLOT DE RELAIS n° 1		PLOT DE RELAIS n° 2		PLOT DE RALAIS n° 3	
		−	+	−	+	−	+
		Blanc des lettres.	A	B	C	D	E
Plot de clef n° 1 . . .	−	F	G	H	I	J	K
	+	L	M	N	O	P	Q
Plot de clef n° 2 . . .	−	R	S	T	U	V	Blanc des chiffres.
	+	É	X	Y	Z		

On voit qu'un courant de sens déterminé traversant un plot de relais déterminé correspond à la transmission de cinq lettres différentes. Un courant positif traversant le premier plot de relais, par exemple, déterminera la transmission de l'une des cinq lettres suivantes A, G, M, S ou X, suivant que l'émission sera unique ou bien qu'elle aura été précédée d'une autre émission positive ou négative à travers l'un ou l'autre des deux plots de clef.

Les combinaisons des courants destinées à reproduire les différentes lettres se font automatiquement par le jeu même de la manipulation sur un clavier composé des mêmes touches que l'appareil Hughes ordinaire. Une touche en s'abaissant agit sur une lame ou sur deux suivant la lettre à laquelle elle correspond. Les lames sont en relation avec les plots convenables du distributeur. Au-dessous d'elles se trouvent deux règles métalliques communiquant l'une avec une pile positive, l'autre avec une pile négative. Le contact des lames avec l'une ou l'autre de ces règles est produit par l'abaissement des touches correspondantes.

Réception des signaux. — Collecteur. — Les courants, à l'arrivée, sont reçus, suivant les plots du distributeur qu'ils traversent, les uns par les électro-aimants clefs, les autres par les relais. Les six relais qui sont des électro-aimants Hughes sont embrochés deux à deux avec interversion du sens d'entrée du courant dans chacun d'eux de manière à ce qu'ils soient actionnés par des courants de sens contraire.

Les quatre clefs qui sont également des électro-aimants Hughes, sont embrochées deux à deux dans les mêmes conditions que les relais. Elles servent, en quelque sorte, à aiguiller les courants des relais dans

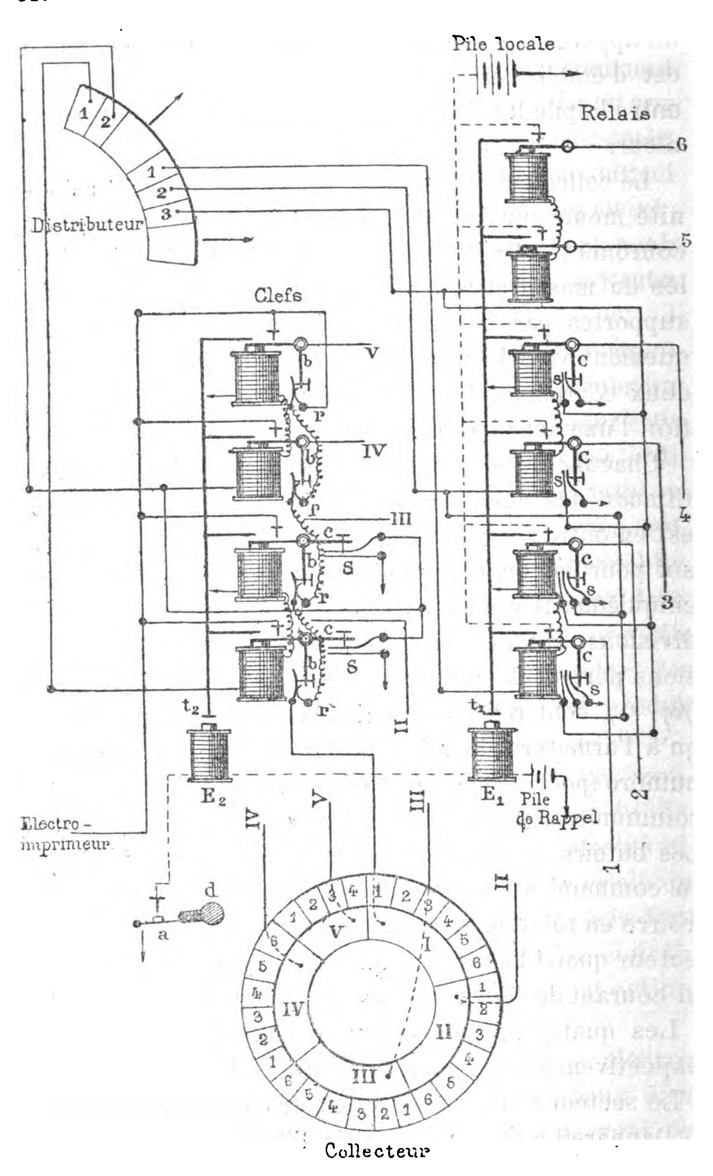
un appareil spécial appelé *collecteur* dont la fonction est d'établir au moment opportun la communication entre la pile locale des relais et l'électro-aimant imprimeur.

Le collecteur (*fig.* 1) est formé d'un disque en ébonite monté sur l'axe de la roue des types. Il porte deux couronnes métalliques concentriques. Deux balais isolés du massif et reliés électriquement entre eux sont supportés par un porte-balais qui tourne synchroniquement avec la roue des types. Ils frottent sur les deux couronnes du collecteur et les mettent en relation l'une avec l'autre.

Chacune des couronnes est divisée en cinq secteurs. Chacun des cinq secteurs de la couronne extérieure est en outre partagé en un certain nombre de divisions, six pour les quatre premiers secteurs, quatre pour le cinquième. Il y a donc dans cette couronne vingt-huit divisions, autant que de lettres à recevoir. Les divisions portant le même numéro sur le croquis ci-joint (*fig.* 1), sont reliées électriquement entre elles ainsi qu'à l'armature du relais portant également le même numéro (pour ne pas surcharger la figure, les lignes de communications n'ont pas été entièrement tracées). Les butoirs supérieurs des armatures des relais étant en communication avec une pile locale, cette pile se trouve en relation avec cinq secteurs différents du collecteur quand l'armature d'un relais a été soulevée par un courant de ligne.

Les quatre secteurs n°s II, III, IV et V sont reliés respectivement aux quatre armatures des clefs.

Le secteur n° I est relié à l'électro-aimant imprimeur de l'appareil à travers une série d'interrupteurs formés par des groupes de deux ressorts *r* en contact l'un



Pile locale
Relais
Distributeur
Clefs
Electro-imprimeur
Pile de Rappel
Collecteur

Fig. 1.

avec l'autre. Il suffit que l'une quelconque des clefs fonctionne, c'est-à-dire que son armature soit soulevée par un courant de ligne pour que la communication du réseau n° 1 avec l'électro-imprimeur soit rompue par l'action des bras verticaux *b* (*fig.* 1).

Ceci posé, supposons que l'on transmette au poste de départ une lettre nécessitant l'émission d'un seul courant, la lettre A par exemple. Au poste d'arrivée, l'armature du relais n° 2 est soulevée et met en communication tous les contacts n° 2 du collecteur avec la pile locale. Au moment où les balais du collecteur mettront en relation le secteur n° I de la couronne intérieure et le contact n° II correspondant de la couronne extérieure, le courant de la pile locale viendra actionner l'électro-aimant imprimeur à travers les interrupteurs des clefs. La lettre A occupera à ce moment la position convenable pour l'impression sur la roue des types.

Si l'on transmet une lettre nécessitant l'émission de deux courants, la lettre M par exemple, le premier courant, au poste d'arrivée, agit sur la clef n° 2 dont l'armature en se soulevant rompt la communication du secteur n° I de la couronne intérieure du collecteur avec l'électro-aimant imprimeur pour relier ce dernier avec un autre secteur, le secteur n° III dans le cas considéré. Quand le second courant viendra agir sur le relais n° 2, la pile locale se trouvera, comme dans le cas précédent reliée à tous les contacts n° 2 de la couronne extérieure. Mais elle ne pourra agir sur l'électro-aimant imprimeur qu'au moment où les deux balais relieront le secteur n° III de la couronne intérieure avec le contact n° 2 correspondant.

Les combinaisons des émissions du poste de départ

sont ainsi reproduites à l'arrivée par les combinaisons dans le jeu des armatures des relais et des clefs et à chacune de ces combinaisons correspond une position et une seule des balais sur le collecteur susceptible de provoquer l'émission d'un courant local et par suite l'impression d'une lettre bien déterminée de la roue des types.

Le rappel des armatures aussi bien des relais que des clefs a lieu au moment même de l'impression du caractère qui a été déterminé par leur déplacement. Pendant le mouvement du levier d'échappement, l'appendice *d* fixé à son axe se soulève (voir *fig.* 1). Un contact se produit en *d* et le circuit d'une pile de rappel spéciale est fermé à travers les électro-aimants E_1 et E_2. Ces deux électro-aimants agissent sur les deux tiges t_1 et t_2 qui, dans leur mouvement, ramènent les armatures déplacées à la position de repos.

Décharge. — Nous avons supposé que le distributeur comprenait cinq contacts pour chaque secteur correspondant à un appareil. En réalité il en comprend sept. Après le groupe des deux plots de clefs, comme après le groupe des trois plots de relais, le frotteur passe sur un plot relié à la terre. La *fig.* 2 permet de se rendre compte de cette disposition. L'ensemble du distributeur y est représenté. On voit que cet organe se compose de cinq couronnes. La couronne n° 1 est parcourue par un balai en relation avec la ligne. Deux balais conjugués à celui-là parcourent les couronnes 2 et 3 qui sont l'une la couronne de réception, l'autre la couronne de transmission et sont par suite en relation l'une avec les clefs et les relais, l'autre avec les ressorts-lames du manipulateur. Les couronnes 4 et 5 ont

une destination dont nous parlerons plus tard. Sur la *fig.* 2 tous les plots reliés à la terre sont représentés avec des hachures. On voit ainsi qu'après chaque passage des balais sur un groupe de plots de relais ou sur

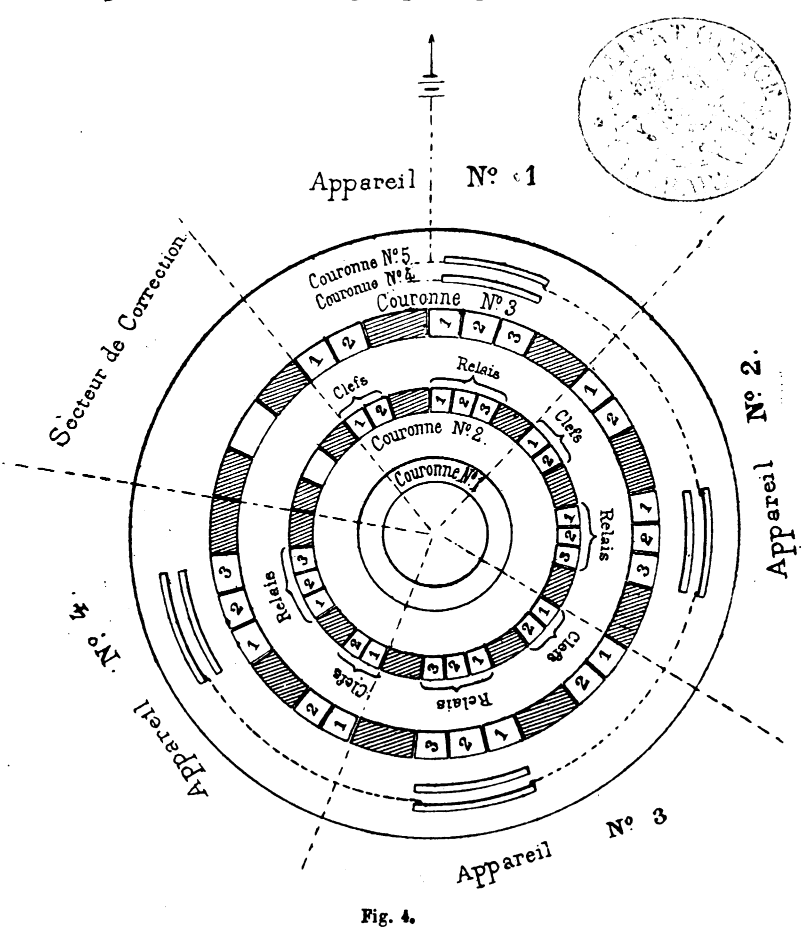


Fig. 4.

un groupe de plots de clefs, la ligne est mise à la terre par ses deux extrémités. Pour assurer une excel-

lente décharge, M. Munier a donné aux contacts de terre une longueur presque double de celle des contacts de transmission. Ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire, il y a au plus une émission de courant à chaque tour par chaque groupe de contacts de clefs ainsi que par chaque groupe de contacts de relais. Il n'y a donc jamais d'émission de courant qui ne soit suivie d'une décharge de la ligne par ses deux bouts.

En plus de cette décharge de la ligne à chaque émission, l'inventeur a imaginé une disposition très ingénieuse grâce à laquelle, lorsque un relais ou une clef a fonctionné, les plots des organes similaires suivants sont mis à la terre. Tout en augmentant la durée de la décharge, on évite ainsi l'effet des queues de courant sur les relais ou sur les clefs autre que ceux qui doivent fonctionner.

En vue de ce résultat, les armatures des relais et des clefs portent des petits bras isolés *c* (*fig.* 1) qui servent, lorsque l'armature a fonctionné, à réunir plusieurs ressorts *s* dont l'un est relié à la terre et les autres aux plots à décharger.

Synchronisme. — Le distributeur Munier est monté sur un cinquième appareil Hughes. Il est placé dans l'espace compris entre la roue des types et la roue correctrice. La roue des types est remplacée par le porte-balais. La correction du synchronisme se fait ainsi par l'action de la came correctrice sur la roue correctrice absolument comme dans l'appareil Hughes. Le porte-balais peut être ramené à son point de départ exactement comme la roue des types d'un appareil ordinaire est ramenée au blanc. A chaque tour un courant de correction est envoyé par l'un des postes automatiquement, un plot de correction étant à cet

effet ménagé sur le distributeur entre deux plots de mise à la terre. Ce courant est reçu au poste correspondant par un électro-aimant Hughes qui agit sur la roue correctrice du distributeur comme nous venons de le dire. La correction se fait ainsi à chaque tour. Le courant correcteur peut à volonté être émis par l'un ou l'autre poste.

Le synchronisme entre le distributeur et les récepteurs d'un même poste est maintenu à l'aide d'une mise au point de la roue des types à chaque révolution.

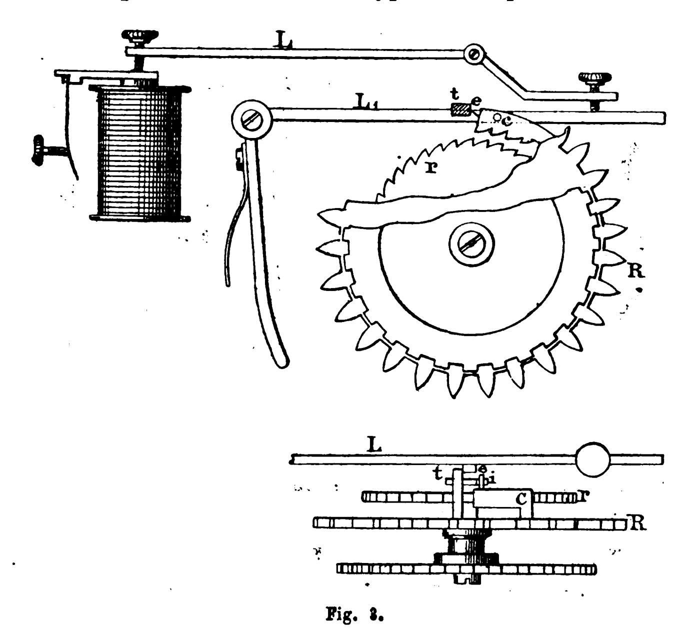


Fig. 3.

Les contacts des couronnes 4 et 5 du distributeur (*fig.* 2) qui sont en nombre égal à celui des appareils à desservir sont destinés à l'émission d'un courant local qui déclenche l'armature d'un électro-aimant Hughes spécial ajouté à l'appareil. Cette armature

commande un levier L qui, à chaque soulèvement abaisse un second levier L_1 muni d'un épaulement (*fig.* 3). Dans ce mouvement, l'épaulement laisse échapper le doigt *t* qui est fixé à la roue correctrice R et par lequel elle était arrêtée. Le cliquet de correction *c* glisse alors sur le plan incliné *i*, et est embrayé avec le rochet *r* qui entraîne la roue correctrice et la roue des types.

La mise au point automatique se fait à chaque tour et le déclanchement a lieu au moment où la ligne se trouve en communication avec le premier plot de relais. On voit que la vitesse de la roue des types de chaque appareil peut ne pas être absolument égale à celle des balais du distributeur. Elle peut lui être supérieure. L'important est qu'elle ne soit pas inférieure.

Rendement. — La vitesse normale du distributeur est de 130 tours à la minute. Par suite du jeu même de l'appareil, on doit renoncer aux combinaisons qui sont en usage dans la manipulation du Hughes simple et, par chaque appareil on ne peut transmettre qu'une lettre par tour, soit environ 125 lettres à la minute. Les quatre appareils permettent donc de transmettre 500 lettres à la minute ou 6.000 mots environ à l'heure, en supposant les mots formés de cinq lettres en moyenne.

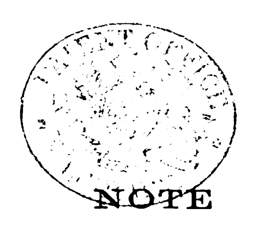
Passage de la transmission simple à la transmission multiple. — L'appareil Munier offre l'avantage de se prêter avec une grande souplesse aux variations du trafic. Un appareil Hughes, transformé par l'inventeur, peut être employé soit en simple, soit en multiple et l'on peut par des manœuvres simples et rapides passer de l'une des transmissions à l'autre. Les seules opérations à faire sont en effet les suivantes :

1° Mettre en marche l'appareil distributeur;

2° Manœuvrer un commutateur spécial qui établit les communications multiples en même temps qu'il supprime les communications simples;

3° Manœuvrer une manette qui met le clavier multiple en rapport avec le clavier simple, de façon qu'en abaissant les touches comme à l'ordinaire, on presse les lames correspondantes du clavier multiple les mettant en communication avec les piles de polarité convenable.

(*A suivre.*) H. Thomas.



NOTE

SUR LA

REMISE A L'HEURE DES HORLOGES A GRANDE DISTANCE

PAR L'INTERMÉDIAIRE DES FILS TÉLÉGRAPHIQUES

(Système G. DUMONT et H. LEPAUTE)

Exposé du système. — Depuis longtemps déjà, les régulateurs placés en différents points de la gare de l'Est à Paris sont remis à l'heure électriquement par la grande horloge de la façade. Cette régulation s'opère une fois par heure, suivant le système de MM. Redier et G. Tresca, qui corrige *seulement l'avance*, mais qui a l'avantage de ne pas demander de modification du rouage. En principe, ce système consiste à arrêter l'échappement de l'horloge si elle a de l'avance, tout en laissant le pendule continuer ses oscillations; cet arrêt de l'échappement a pour durée la valeur de l'avance qu'avait prise l'horloge; dès que l'échappement est rendu libre, le pendule agit de nouveau sur le rouage et l'horloge reprend sa marche.

Ce système ayant donné d'assez bons résultats, on a eu l'idée de l'appliquer à grande distance. Il a paru qu'il suffisait, en se servant des fils télégraphiques, d'envoyer un courant dans les horloges des gares de Troyes et de Vesoul pour les remettre à la même heure que celle de Paris. Cet emprunt des fils ne peut

causer aucune gêne au service des dépêches, puisque sa durée devait être très courte (cinq minutes toutes les douze heures). Toutefois, l'application n'était pas sans entraîner quelques complications dans les organes. Il s'agissait tout d'abord de réaliser l'isolement des appareils télégraphiques et la mise en communication des horloges avec la ligne pendant cinq minutes toutes les douze heures ; on ne pouvait songer à faire manœuvrer un commutateur par les agents des gares, qui auraient le plus souvent oublié cette manœuvre, et c'est aux horloges elles-mêmes qu'on a demandé cette commutation automatique. Voici comment :

Commutateur. — Chaque horloge est munie d'un commutateur consistant en un électro-aimant sur l'armature duquel sont fixés deux ressorts isolés l'un de l'autre et reliés aux fils de ligne; en temps normal (c'est-à-dire lorsque aucun courant ne traverse l'électro) les ressorts sont au contact de deux butoirs reliés au poste télégraphique; dans ces conditions, les courants cheminant dans les fils de ligne sont dirigés sur le poste télégraphique et l'échange des dépêches peut s'effectuer; mais, si un organe spécial mû par l'horloge, et dont nous parlerons plus loin, vient à fermer le circuit d'une pile locale sur l'électro, l'armature entraînera les deux ressorts, qui quitteront les premiers butoirs et viendront au contact de deux autres qui sont en communication avec l'organe de remise à l'heure. Le poste télégraphique se trouvera alors isolé des lignes qui sont affectées au service de l'horloge tant que l'armature sera attirée, c'est-à-dire tant que le courant de la pile locale circulera dans l'électro.

Le courant de la pile locale est fermé sur l'électro-

aimant par l'intermédiaire d'un levier venant au contact d'un ressort; ce levier est actionné par un système de limaçons montés sur la roue du cadran et sur la chaussée du mouvement de l'horloge; le contact produit dure cinq minutes; c'est-à-dire trois minutes avant douze heures et deux minutes après douze heures.

Horloge distributrice. — C'est une horloge spéciale, placée à Paris et parfaitement régularisée qui remet à l'heure les horloges placées sur le réseau. A cet effet, elle a été munie des organes représentés *fig.* 1.

La roue R fait un tour en une heure; la goupille *g* agira donc toutes les heures sur les leviers *a* et *b* destinés à fermer le circuit de la pile P sur la ligne télégraphique; mais, ainsi que l'examen de la *fig.* 1 le démontre, ce circuit ne pourra être complété qu'autant que l'armature A du commutateur E sera venue au contact du butoir *h*. Or, l'attraction de cette armature A par l'électro E ne peut avoir lieu que toutes les douze heures, parce que le circuit de la pile P′ ne peut être fermé que par l'intermédiaire du levier *c* et du ressort *r′*, et que les leviers *c* et *d* sont commandés par le limaçon porté sur la roue S, laquelle fait un tour en douze heures.

Ainsi les leviers *c* et *d* ont pour fonction de fermer et d'ouvrir le circuit de la pile P′ sur l'électro E, c'est-à-dire de mettre pendant cinq minutes la ligne télégraphique en communication avec l'horloge, de façon à permettre à cette dernière d'envoyer par l'intermédiaire des leviers *a* et *b* un courant qui, parcourant la ligne, traversera les organes électriques des horloges placées sur différents points du réseau.

Nous verrons plus loin comment ce courant, qui dure soixante secondes, agit pour remettre ces horloges à la même heure que l'horloge régulatrice placée à Paris.

L'ensemble des deux leviers *a* et *b* et d'un ressort *r* constitue le contact ou commutateur système Madeleine : ce commutateur permet de fermer et d'ouvrir un circuit à un moment, et pendant une durée très précise ; son fonctionnement est le suivant : la goupille *g* (*fig.* 1) commence par soulever les deux le-

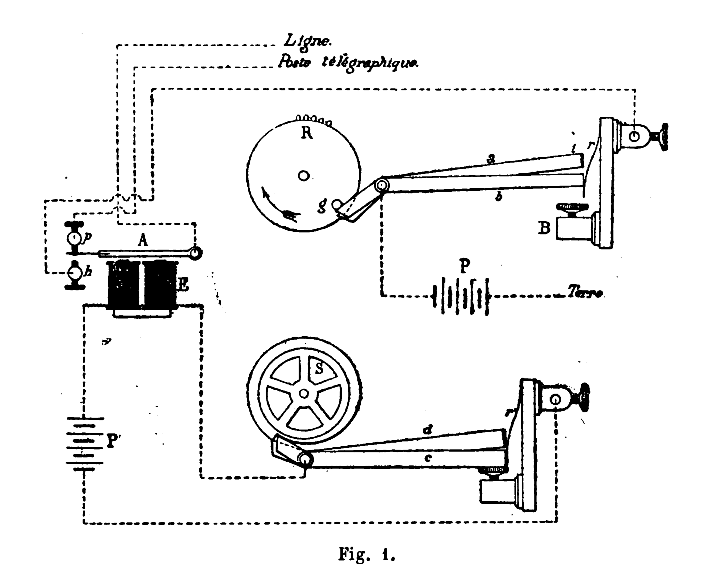


Fig. 1.

viers, dont les bras ont une longueur un peu différente ; la roue R, et par suite la goupille *g*, continuant leur mouvement, le levier *b*, dont le bras est le plus court, échappe le premier et vient tomber sur le butoir B, en se mettant au contact du ressort *r* ; soixante secondes après, le levier a échappé à son tour et, comme son

extrémité est garnie d'une matière isolante *i* et que sa longueur est un peu plus grande que celle du levier *b*, en tombant, il écarte le ressort *r* du levier *b* et interrompt le courant; après un tour complet de la roue R, le même effet se reproduit, les deux leviers sont soulevés par la goupille *g* et retombent l'un après l'autre à soixante secondes d'intervalle.

Le fonctionnement du commutateur dépendant de la roue S est absolument le même; mais les leviers sont remontés et lâchés par un limaçon au lieu d'être mus par une goupille.

L'horloge distributrice, quoique ayant une marche très régulière, a été, pour plus de sûreté, reliée électriquement à la grande horloge de la gare; elle est donc elle-même remise à l'heure, par cette dernière, de la même façon que les horloges du réseau qu'elle commande à son tour. La seule différence consiste en ce que l'horloge distributrice est régularisée toutes les heures, tandis que, comme nous l'avons dit plus haut, les horloges du réseau ne le sont que toutes les douze heures.

Horloges réceptrices. — Ces horloges sont du type habituellement employé dans les gares, avec cette différence qu'elles ne sont pas pourvues du grand cadran extérieur. Elles sont munies chacune du commutateur décrit plus haut. Ce commutateur est actionné par une pile locale de la même façon que celui de l'horloge distributrice.

Comme nous l'avons déjà dit, le système de remise à l'heure consiste à arrêter la roue d'échappement, de telle sorte que le balancier continue à osciller librement indépendamment du rouage. L'horloge doit être réglée de manière à ne jamais retarder; on s'arrange

donc pour lui donner plutôt une tendance à l'avance.

C'est à 11 heures 59 minutes que l'horloge distributrice envoie un courant d'une durée de soixante secondes, qui, par conséquent, cesse à 12 heures ; le courant traverse l'électro E (*fig.* 2) et tend à attirer l'ar-

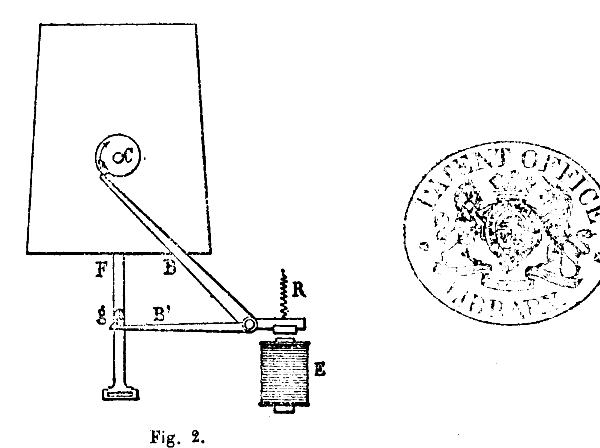


Fig. 2.

mature placée au-dessus ; mais celle-ci ne peut obéir à cette attraction que lorsque le bras du levier B sera tombé dans l'encoche du limaçon C, c'est-à-dire lorsque l'horloge à régler marquera 12 heures juste ; dès que l'armature pourra s'approcher de l'électro E, elle entraînera le levier B′, qui retiendra, par son crochet, la goupille *g* fixée sur la fourchette F ; cette dernière se trouvera donc arrêtée et l'horloge restera à 12 heures, jusqu'à ce que, le courant cessant de passer dans l'électro E, le ressort R relève l'armature et dégage la goupille *g* ; à ce moment précis, l'horloge distributrice et les horloges à régler marqueront toutes 12 heures, et ces horloges se remettront en marche puisque leur balancier, dont les oscillations n'auront pas cessé, aura de nouveau action sur la fourchette F qui sera dégagée.

On voit que les dispositions prises ne permettent de corriger qu'une avance de soixante secondes toutes les douze heures, c'est-à-dire de deux minutes par jour; mais cette limite est plus que suffisante, car les régulateurs qui varieraient davantage seraient retirés du service.

Commutateur de sûreté. — Puisque l'on emprunte la ligne télégraphique, il faut avant tout que, dans le cas d'arrêt ou de dérangement de l'horloge, les communications ne soient pas interrompues.

On n'a donc pas relié directement la ligne à l'armature A, ainsi que le suppose le schéma de la *fig.* 1; cette relation est établie par l'intermédiaire du commutateur représenté en plan *fig.* 3.

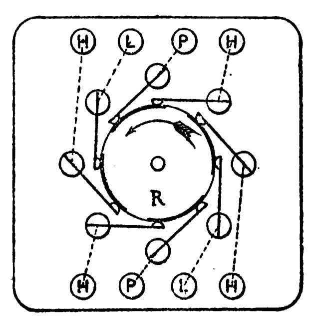


Fig. 3.

Cet appareil consiste essentiellement en une roue R en matière isolante, portant sur sa circonférence des lames métalliques destinées à établir des communications entre les divers frotteurs qui appuient dessus. En temps normal, les lignes se trouvent en communication avec le poste télégraphique par l'intermédiaire du commutateur représenté *fig.* 1; mais si, au moyen d'une manivelle, on fait faire un huitième de tour à la roue R (*fig.* 4), les lignes se trouvent mises en relation

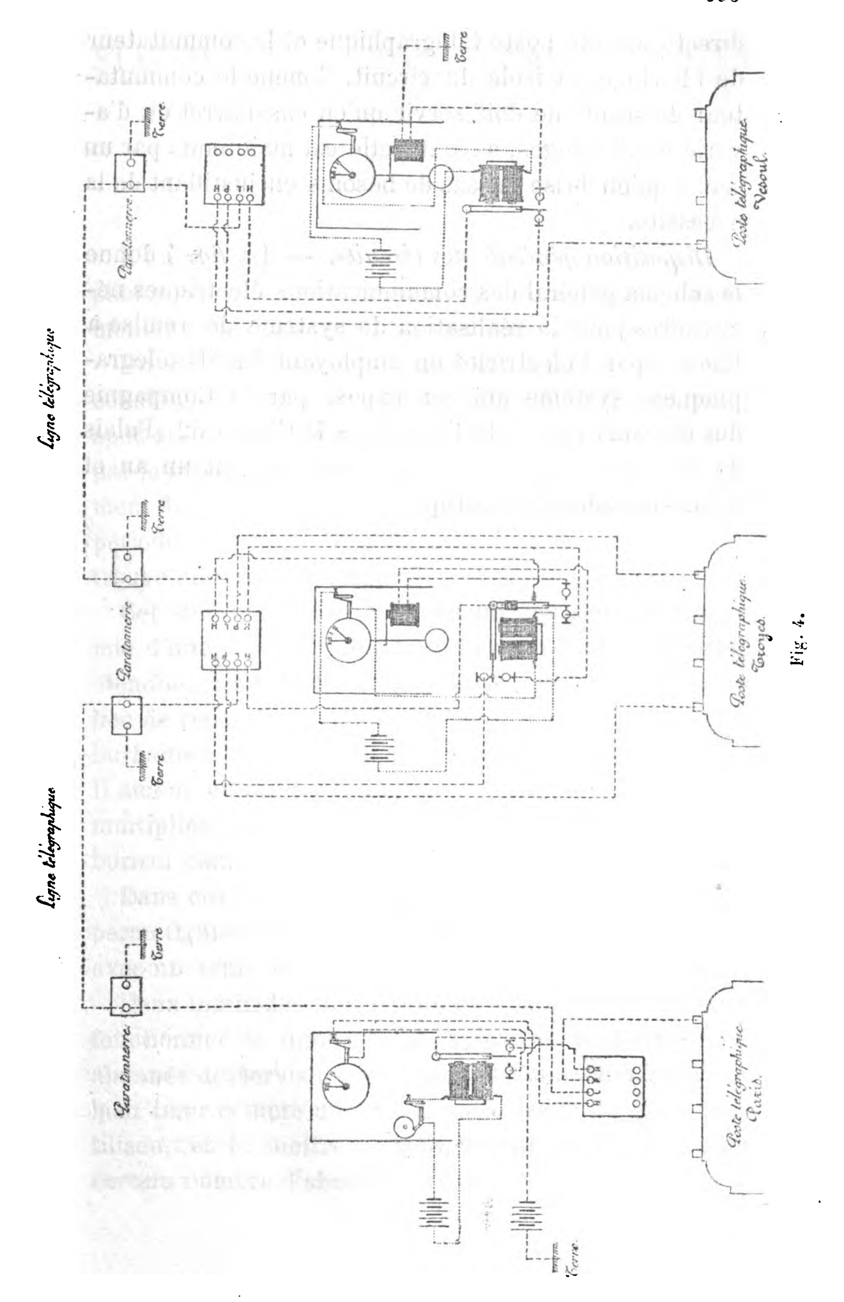

Ligne télégraphique
Ligne télégraphique
Paratonnerre
Paratonnerre
Paratonnerre
Terre
Terre
Terre
Terre
Terre
Poste télégraphique Vesoul.
Poste télégraphique Troyes.
Poste télégraphique Paris.

Fig. 4.

directe avec le poste télégraphique et le commutateur de l'horloge est isolé du circuit. Comme le commutateur de sûreté ne doit servir qu'en cas d'arrêt ou d'avarie aux horloges, sa manivelle est maintenue par un scellé qu'on brise en cas de besoins en justifiant de la nécessité.

Disposition générale des circuits. — La *fig.* 4 donne le schéma général des communications électriques nécessaires pour la réalisation du système de remise à l'heure par l'électricité en employant les fils télégraphiques, système qui est exposé par la Compagnie des chemins de fer de l'Est, dans la Classe 62 (Palais des Machines), et qui a fonctionné pendant un an et demi sans aucune interruption.

STATIONS TÉLÉPHONIQUES AUTOMATIQUES

L'un des problèmes les plus importants de la téléphonie consiste actuellement dans la recherche d'une meilleure utilisation des fils des réseaux.

On sait que jusqu'à ce jour il est à peu près d'usage constant de desservir chaque abonné à l'aide d'un fil spécial. Or, la moyenne des durées de communication par jour pour un abonné ordinaire étant approximativement de cinquante minutes, il en résulte pour le fil une période d'environ neuf heures durant laquelle il se trouve entièrement inutilisé.

Cet état de choses, évidemment contraire à l'économie d'une bonne exploitation dans un réseau de faible étendue, devient particulièrement grave lorsqu'il y a lieu de relier en assez grand nombre des abonnés suburbains à un centre téléphonique relativement éloigné. Il amène en outre, dans les grands réseaux, une telle multiplication de lignes, que l'accès de celles-ci au bureau central devient d'une difficulté considérable.

Dans ces conditions, on s'est demandé quels moyens permettraient de desservir deux ou plusieurs abonnés avec un seul fil.

Deux méthodes sont possibles a priori : ou bien faire fonctionner la ligne en multiplex et permettre aux abonnés desservis par elle de causer *simultanément*, ou bien tenir compte du temps que celle-ci demeure inutilisée, et la mettre *successivement* au service d'un certain nombre d'abonnés.

La première de ces deux méthodes, qui est d'une application délicate, n'offre d'intérêt réel que lorsqu'il s'agit de lignes interurbaines à longue distance. Pour celles-ci, en effet, les intervalles d'inutilisation n'existent point comme dans les réseaux locaux.

La seconde présente des facilités très différentes suivant que les abonnés placés sur la même ligne sont installés dans un local unique ou dans des immeubles différents. Dans le premier cas, il n'y a pas de difficulté à multiplier le nombre des fils entre les postes, et les solutions reposent entièrement sur des agencements de communications. Dans le second, on est obligé de recourir à un organe mécanique spécial, manœuvré à distance par la station centrale, et permettant de donner à volonté le fil à tel ou tel abonné; c'est la station centrale automatique.

Nous nous proposons d'étudier ici quelles solutions ont été proposées ou appliquées pour ces divers problèmes, et lesquelles paraissent actuellement les plus convenables pour l'exploitation des réseaux téléphoniques.

I.

Les méthodes essayées pour duplexer téléphoniquement les lignes, sont pour la plupart analogues à celles de la télégraphie : mais la téléphonie faisant un usage exclusif des courants alternatifs, il est clair qu'il n'est plus possible d'utiliser des combinaisons d'électro-aimant polarisés pour séparer les courants d'arrivée. Les solutions sont donc moins nombreuses et exposent à des réglages d'une plus grande délicatesse.

Parmi les plus ingénieuses, il faut citer celles de

MM. Leblanc, Rothen, Tomasi, etc. Une seule a été tentée pratiquement et avec un certain succès sur une ligne de 150 kilomètres entre New-York et Philadelphie.

Le système Leblanc qui rappelle le télégraphe harmonique d'Elisha Gray, est fondé sur cette remarque que les vibrations transmises à un diapason par un autre d'égale hauteur, ne sont point seulement de même période mais d'amplitude proportionnelle.

Ces variations d'amplitude pouvant être provoquées au départ par la voix, il est donc possible de réaliser une transmission des sons articulés par l'intermédiaire d'un diapason. Si plusieurs sont embrochés sur la ligne au poste de départ, servant chacun de transmetteur, une série de diapasons semblables placée à l'autre extrémité de la ligne analysera les conservations, de même que les courants ondulatoires sont analysés dans le télégraphe harmonique, et le seul inconvénient sera la superposition constante du son fondamental émis par le diapason transmetteur aux sons articulés transmis.

Pour se débarrasser de ce léger ennui, un artifice ingénieux consiste à ne choisir pour transmetteurs que des diapasons fournissant de 5.000 à 6.000 vibrations à la seconde, les sons correspondants à ces nombres ne pouvant être perçus par l'oreille.

L'avantage d'un pareil système consiste dans la possibilité théorique de placer simultanément un nombre quelconque de postes sur la ligne. Malheureusement, il est d'une application pratique encore plus délicate que le télégraphe harmonique, et nous ne croyons pas qu'un véritable essai en ait encore été tenté.

Le système Tomasi, dont la première idée a été émise par M. Rothen, outre des difficultés analogues, présente encore des impossibilités théoriques qui doivent le faire écarter immédiatement.

Comme dans les multiples Meyer, Baudot, etc., deux distributeurs placés aux deux extrémités du fil et marchant synchroniquement donnent la ligne successivement à des groupes de deux abonnés correspondant entre eux, AA′, BB′, CC′, DD′. En supposant n groupes (*fig.* 1), à chaque tour du distributeur la

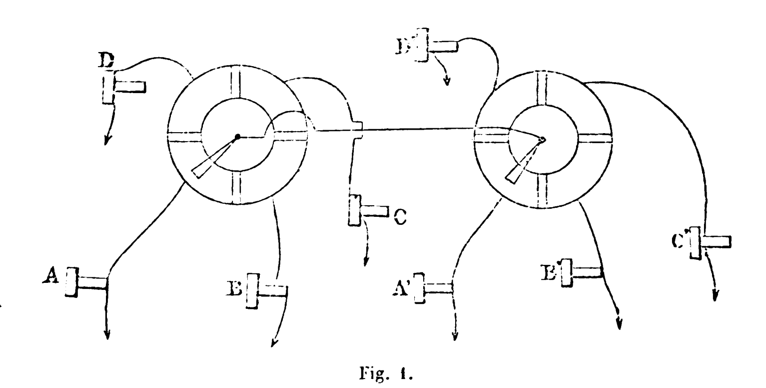


Fig. 1.

conversation de A avec A′, par exemple, sera théoriquement interrompue pendant la $\frac{n-1}{n}^{\text{me}}$ partie de la durée d'une révolution. Or le plus grand intervalle perçu par l'oreille entre deux sons successifs est de 1/32e de seconde. Si donc la durée totale de la révolution des distributeurs est moindre que cet intervalle, les deux abonnés ne pourront s'apercevoir de la coupure de la ligne, le temps qui s'écoule durant celle-ci étant rempli par la persistance de la sensation auditive sur l'oreille. A condition de parler lentement, tout se

passera comme si les deux abonnés avaient eu constamment leur ligne.

On voit immédiatement qu'outre l'altération nécessairement produite dans la voix ainsi transmise, il y aurait encore lieu d'obliger l'abonné à adopter une certaine cadence de conversation, d'autant plus lente que plus de postes seraient montés sur le distributeur. De plus, il est probable que les coupures périodiquement faites produiraient chacune un craquement dans le téléphone de nature à gêner absolument la communication.

Quant aux questions de synchronisme, M. Tomasi ne les a point abordées.

Le seul des trois systèmes ayant reçu une application industrielle est celui actuellement exploité sous le nom de Barrett. Au lieu de résoudre le problème dans sa plus grande généralité, il permet simplement d'installer sur le fil deux communications simultanées. La *fig.* 2 permet d'en saisir immédiatement le principe.

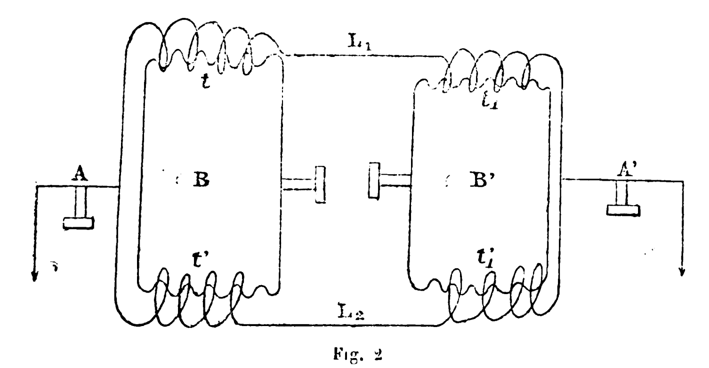


Fig. 2

A et A′, B et B′ sont les postes correspondant entre eux; les premiers A et A′ le font directement et l'induction produite dans les translateurs t, t', t_1, t'_1, par

les courants qui viennent de l'un ou l'autre de ces téléphones provoque dans les circuits secondaires de B ou B′ des effets qui se neutralisent.

B et B′ au contraire causent par l'intermédiaire d'une double translation, et les dérivations de courants produites sur A ou A′ sont assez faibles pour ne pas y permettre de suivre la conversation.

Le système Barrett nécessite l'emploi d'un double fil toujours usité en téléphonie interurbaine. Il suppose de plus que les divers translateurs sont tellement réglés que les deux branches du circuit double L_1 L_2 sont parfaitement symétriques. Ce réglage s'effectue grossièrement en déplaçant dans le sens de l'axe, le noyau de fer doux qui forme l'âme du translateur; il constitue une des premières imperfections du système.

Il y a lieu d'en signaler deux autres plus graves : la première provient des dérivations sur A et A′ qui peuvent se produire lorsque B et B′ causent si le réglage n'est pas absolument parfait. Outre l'affaiblissement qui en résulte dans la conversation de B avec B′, il est clair que celle-ci peut être suivie par A ou A′.

La seconde résulte de l'obligation de mettre des terres dans le circuit, obligation dont les inconvénients sont assez connus pour qu'on n'y insiste pas.

Jusqu'à ce jour le problème de la téléphonie multiple n'a donc pas été réellement résolu et il y a lieu de demander à des solutions d'un autre genre une meilleure utilisation des fils téléphoniques.

II.

Qu'il s'agisse de desservir successivement avec un même fil des abonnés situés dans un même local ou

dans des immeubles différents, on peut dire que pour résoudre complètement le problème, il est nécessaire de réaliser les conditions suivantes :

1° La station centrale doit pouvoir appeler chaque abonné sans déranger les autres abonnés desservis par le même fil;

2° Chaque abonné doit pouvoir appeler la station centrale sans déranger les autres abonnés;

3° Quand un abonné est en communication avec la station centrale ou tout autre abonné du réseau, aucun des abonnés placés sur le même fil ne doit pouvoir épier ou interrompre la conversation;

4° Deux abonnés placés sur le même fil doivent pouvoir causer entre eux.

Il est, de plus, désirable d'éviter autant que possible à l'abonné des manipulations telles que manœuvres de commutateurs non automatiques, etc. On s'expose, en effet, à de fréquents ennuis, par suite du peu d'attention de l'abonné à remettre les choses en l'état. La difficulté actuelle d'obtenir de lui le signal de fin de conversation en est la meilleure preuve.

Lorsque les abonnés sont placés dans un même local et c'est le cas que nous allons examiner dans ce chapitre, nous avons dit que les solutions reposaient toutes sur des combinaisons de connexions, sans introduction d'organes mécaniques spéciaux autres que des relais. Seuls le système dit de la pendule et le système suédois font exception.

Si l'on ne veut installer que deux abonnés sur le fil, la solution présente très peu de difficultés. Parmi les plus fréquemment usitées, il y a lieu de citer celles de MM. Grassi et Beux modifiées par M. Rothen, le système Sinclair et le système Ducousso. Nous allons les

décrire successivement en insistant plus particulièrement sur le détail des systèmes usités en France.

Dans le système Grassi et Beux, comme dans presque tous les suivants, chaque poste est muni de relais polarisés sensibles l'un aux courants positifs, l'autre aux courants négatifs et commandant des sonneries. La station centrale appelle ainsi l'un ou l'autre poste à volonté.

La *fig.* 3 représente le détail des communications.

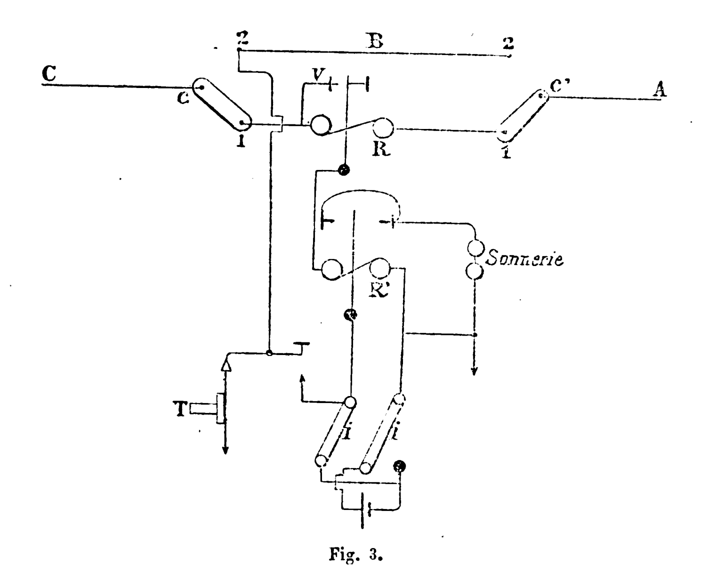


Fig. 3.

C est la direction de la station centrale.

B la station intermédiaire.

A la station extrême.

Au repos les deux commutateurs *c* et *c'* sont placés sur 1. Un courant négatif venant de C fera par exemple fonctionner le relai polarisé R. L'armature de ce relai ouvre alors au courant un chemin plus court vers la

terre par v et R′ et le relai R′ en fonctionnant ferme le circuit de la sonnerie.

Un courant positif aurait de la même façon appelé A.

Pour causer ou répondre, l'abonné B doit manœuvrer l'un des commutateurs c et le placer sur 2. Ce mouvement permet d'introduire sur la ligne le poste téléphonique T avec la clef d'appel, en même temps qu'il coupe la communication avec A.

En manœuvrant l'inverseur de pile i et le commutateur c', B peut également appeler A.

L'agencement de ces deux commutateurs c et c' est tel qu'aucun des deux abonnés ne peut mettre son téléphone sur la ligne pour surprendre une conversation sans couper par ce fait la communication donnée.

En dépit de sa simplicité, le système Grassi et Beux présente l'inconvénient d'obliger l'abonné à manœuvrer deux commutateurs et un inverseur de courants. Cela seul nous semble en devoir faire rejeter la pratique. De plus lorsque A est en communication avec B, l'ensemble des deux postes demeure isolé de la station centrale qui risque ainsi d'ignorer toujours si cet isolement est dû à un accident de ligne ou à un état normal. Ce manque de contrôle de la part de la station centrale est éminemment contraire à la commodité d'une bonne exploitation.

Les mêmes critiques s'appliquent au système Sinclair très répandu à Glascow. Le poste intermédiaire y est muni d'un indicateur spécial sensible à l'action d'un courant continu et qui ne peut être actionné par des courants alternatifs.

Cet indicateur se compose essentiellement d'un aimant lourd suspendu au centre d'une bobine. Lorsque

cet aimant se déplace dans un sens déterminé, il soulève un crochet et détermine la chute d'un volet.

Quant au poste extrême et au poste central, ils sont l'un et l'autre munis d'appels et de sonneries à courant alternatif. L'ensemble des communications est le suivant (*fig.* 4). Le poste cetral C voulant appeler A envoie

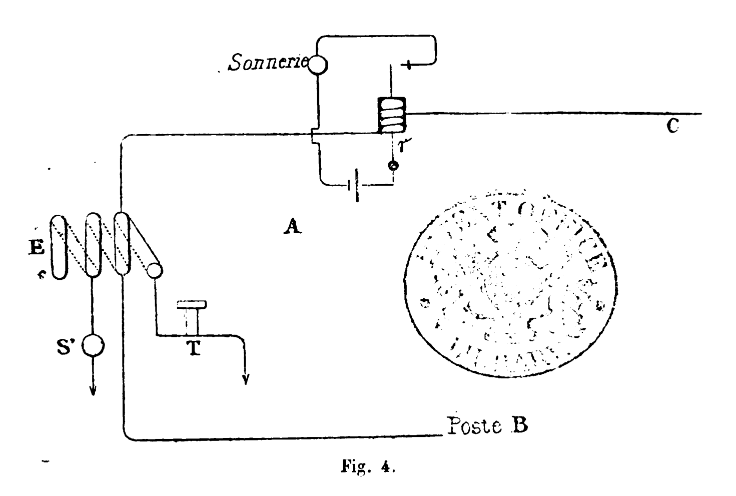


Fig. 4.

un courant continu qui détermine la chute du volet de l'avertisseur *r* et provoque ainsi la fermeture du circuit de sonnerie. A manœuvre alors un commutateur à trois branches E qui passe de la position marquée en trait plein à la position marquée en pointillé. Le jeu de ce commutateur réalise une double opération : 1) le poste téléphonique T de A est mis sur la ligne ; 2) le poste B n'est plus sur celle-ci, mais son fil aboutit à une sonnerie S' qui lui permettra d'avertir A au cas où il désirerait également causer avec le poste central.

Lorsque C appelle B, il utilise des courants alternatifs qui n'influencent pas *r*. Le commutateur demeure dans la position marquée en trait plein.

A ne peut évidemment surprendre une conversation de B, ni B une conversation de A. Mais A et B ne peuvent causer entre eux; de même la portion de ligne placée entre A et B peut rester isolée du poste central si après avoir causé, B ne ramène point son commutateur au repos; nous avons dit plus haut quelles difficultés en peuvent résulter.

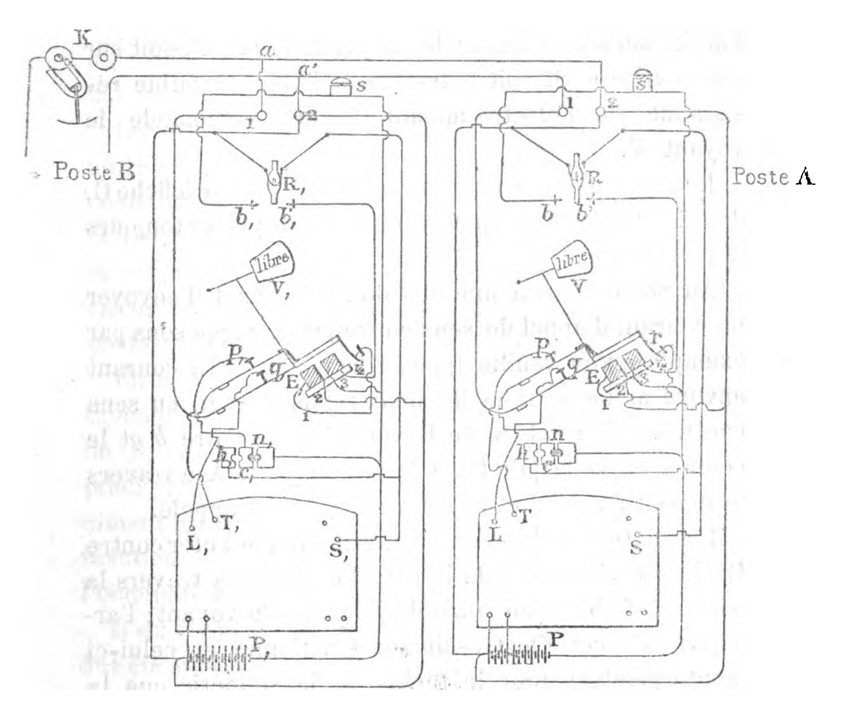


Fig. 5.

Le système Ducousso fréquemment usité dans le réseau de Paris est une solution plus complexe, mais aussi beaucoup plus satisfaisante du problème. Aussi en donnerons-nous ici une description détaillée.

Les croquis ci-dessous ont été tracés pour ligne

double. Les modifications nécessaires pour adapter le système à un réseau à fil simple sont évidentes et se trouveraient sans difficultés.

Les deux postes A et B sont identiques et placés en dérivation sur la ligne double. Leur mode d'insertion sur celle-ci diffère seulement (*fig.* 5).

Chacun d'eux est muni d'un relai polarisé R dont l'armature oscille entre deux butoirs *b* et *b'*. Ces deux butoirs servent à fermer le circuit de la pile P, soit sur une sonnerie S, soit à travers la bobine à faible résistance de l'électro-aimant E qui commande le voyant V.

Le poste possède en outre un commutateur à fiche C, dans lequel, en temps normal on a soin de placer toujours la fiche, en *n*.

Au poste central une clef double permet d'envoyer un courant d'appel de sens convenable. Supposons par exemple qu'on veuille appeler le poste A. Le courant envoyé actionne alors les deux relais R et R_1 en sens contraire; l'armature de R vient buter contre *b* et le coefficient de la pile P est fermé au poste A a travers le massif du relai et la sonnerie S. A est appelé.

L'armature de R_1 est au contraire venue buter contre b'_1. Le circuit de la pile P_1 est alors fermé à travers la bobine à faible résistance de l'électro du voyant; l'armature de cet électro-aimant fonctionne et celui-ci monte pendant tout le temps de la sonnerie que la ligne est occupée.

Lorsque A répond, une partie du courant qu'il envoie passe également dans R_1 et fait de même fonctionner le voyant de B.

On voit que pour avoir un système parfaitement réciproque A et B doivent appeler la station centrale avec

des courants de sens contraires. On en a profité pour avertir automatiquement lequel des deux A ou B appelle la station centrale, en transformant l'annonciateur en une sorte de relai polarisé K faisant apparaître un voyant blanc ou rouge suivant le sens du courant envoyé.

A chaque cessation d'envoi de courant sur la ligne, l'armature de l'électro-aimant se relève sous l'action du ressort antagoniste *r* et le mot « libre » apparaît à nouveau.

Lorsque A communique avec un abonné du réseau autre que B, la fiche restant toujours en *n*, le jeu des communications est tel que le courant de la pile P soit constamment envoyé sur la ligne. On voit en effet que le circuit de celle-ci est fermé suivant *n*, *p*, T, le circuit secondaire du microphone. L, *q*, la borne 1 du poste, la ligne et la borne 2 du même poste.

En *a*, *a'*, une partie de ce courant est dérivée constamment et vient faire buter l'armature du relai polarisé de R_1 contre b'_1. Comme plus haut le courant de la pile P_1 passe alors dans la bobine à gros fil de l'électro-aimant E_1 et le voyant fonctionne faisant apparaître la mention « occupée ». B est donc toujours averti de l'occupation de la ligne.

Il est clair qu'en s'en tenant à ce dispositif, le système eut été suffisant, mais il entraînait l'inconvénient grave de faire fonctionner simultanément les piles P et P_1. Celles-ci se seraient donc usées beaucoup trop vite et sans utilité. Pour obvier à ce défaut, M. Ducousso a donné à l'armature de l'électro-aimant E_1 la forme figurée dans le croquis. A l'état de repos l'armature laisse buter deux ressorts contre leur contact p_1 et q_1. Lorsqu'elle est attirée, elle les écarte l'un et l'autre de

leurs butoirs et fait contact avec l'un d'eux. Au premier moment ou le relai R_1 a fonctionné, le circuit de la pile P_1 passe par les bornes 3, 4 de l'électro E_1 par le butoir b'_1 et l'armature du relai, tandis que le courant dérivé parti de a passe par le contact q_1, L_1, le commutateur automatique, S_1, le relai R_1 et revient en a'.

Au moment où l'armuture de E_1 fonctionne, les communications changent brusquement. Le courant de la pile P arrivé au ressort q_1 passe par l'intermédiaire de l'armature au ressort r_1, de là traverse la seconde bobine de l'électro E_1 et sorti par la borne 2, revient directement à a sans traverser le relai R_1. Celui-ci cesse donc de fonctionner, le circuit de la pile P_1 s'ouvre à nouveau et le voyant n'est plus maintenu que sous l'action du courant venu de la pile P.

Remarquons que si l'abonné B cherchait à surprendre la conversation il n'y pourrait parvenir, le circuit de sa ligne étant constamment rompu en q par le fait même du fonctionnement du voyant.

Il ne faudrait pas croire cependant que la sécurité fût absolue. Il est en effet aisé de se rendre compte que si l'on réunit à l'aide d'une clef par exemple les deux bornes 1 et 2, — ce qui a pour effet de ramener le voyant et de rétablir, en q_1 la communication entre la ligne et le poste — si l'on manœuvre ensuite le commutateur et si l'on enlève enfin la clef, le poste B s'est embroché sans que A puisse s'en apercevoir. Les deux piles P et P_1 sont alors envoyées toutes deux sur la ligne et leurs effets se détruisent; le voyant E_1 ne fonctionne plus.

Lorsque les deux postes A et B désirent causer ensemble, ils placent leurs fiches dans la position h.

Les courants partant du poste A en L passent alors

en q, puis vont à la borne 1 du poste A, entrent par la borne 2 du poste B, traversent le relai R_1, arrivent en h_1 au commutateur, passent par p_1, T_1, le poste téléphonique B, sortent par L_1 et retournent par q_1, la borne 1 du poste B, la borne 2 du poste A, le relai R, h, p et T au poste téléphonique de A. Le poste central est, du reste, en dérivation sur la ligne.

Tel quel, le système Ducousso, après avoir donné lieu à un certain nombre de tâtonnements, fonctionne d'une manière satisfaisante. On peut lui reprocher, outre sa complication relative, l'obligation de la manœuvre des fiches quand deux abonnés doivent correspondre et le manque d'absolue sécurité dans les communications, ce dernier défaut étant, en somme, peu important, car les abonnés ne sont pas au courant des opérations à effectuer pour arriver à les surprendre. Il ne semble pas nécessaire non plus de laisser les relais R et R_1 dans le circuit quand A et B causent ensemble; il suffirait de réunir directement la borne 2 au bloc h du commutateur.

Nous croyons intéressant de donner une autre solution, analogue à celle qui précède, mais permettant de supprimer l'inconvénient de la manœuvre des fiches; le schéma théorique en est représenté *fig.* 6. Il est appliqué au cas d'une ligne à simple fil.

Chacun des postes est encore muni d'un relai polarisé S, S', faisant fonctionner en local une sonnerie. Ces postes possèdent, en outre, des électro-aimants I, I', à forte résistance, commandant les voyants : l'armature de l'un d'eux bute au repos contre un butoir *r*. Quant aux commutateurs automatiques des postes C et C', ils permettent d'établir des communications spéciales.

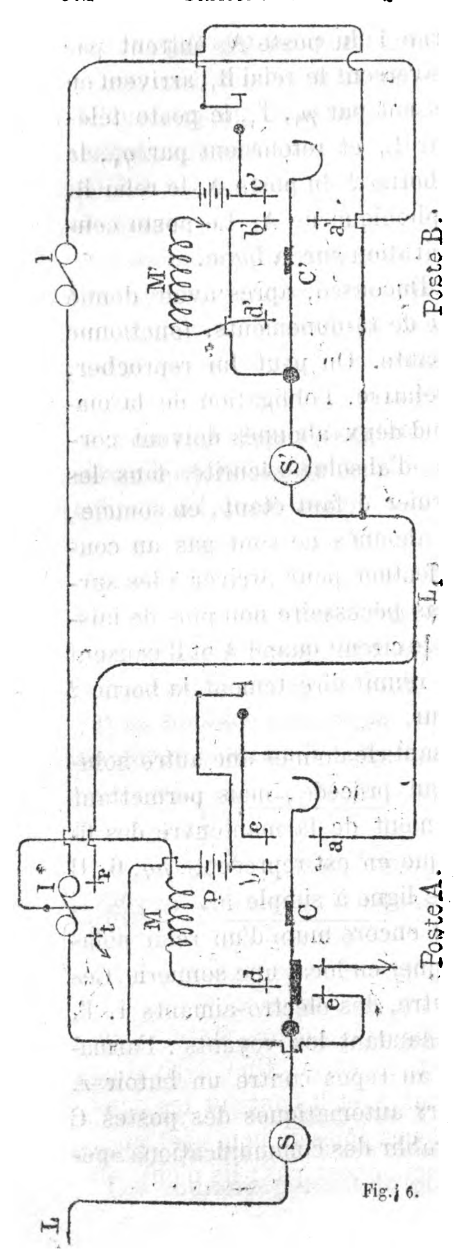


Fig. 6.

Supposons que la station centrale veuille appeler l'un ou l'autre des deux abonnés A ou B. Le courant d'appel arrive par L au relai S, passe en *a* par l'intermédiaire du commutateur C, suit L_1, traverse le second relai S′ et par *a′*, I′, I vient aboutir en *e* à la terre.

Suivant le sens du courant, l'un des abonnés est appelé, A par exemple ; A décroche son téléphone, le commutateur C se soulève. Le circuit de la pile P est alors fermé par *b* et *c*, sur I et I′. Les deux voyants fonctionnent en même temps que l'armature de I vient buter contre le butoir *t* : le circuit secondaire M du microphone se trouve relié en *d* à la ligne d'une part et à la terre *t* d'autre part.

B est donc averti

que la ligne est prise, en même temps que A peut causer. Si B cherchait en outre à surprendre la conversation, il devrait faire fonctionner son commutateur C′. La pile P′ égale et opposée à P se trouverait introduite dans le circuit de I et I′ qui cesseraient de fonctionner et avertiraient ainsi A.

En supposant que B au lieu de A eût été appelé, la manœuvre de son commutateur aurait semblablement amené la fermeture en *b′ c′* du circuit de la pile P′ sur I et I′, et A ne peut chercher à s'introduire sur le circuit sans amener aussitôt la disparition des voyants.

En même temps, les courants envoyés de M′ sont envoyés sur L sans affaiblissement notable d'intensité, la dérivation I, I′ étant, comme on l'a dit plus haut, à forte résistance.

Si A et B veulent enfin causer entre eux, il leur suffit, après avoir été appelés par la station centrale, de laisser fonctionner à l'ordinaire leurs commutateurs automatiques.

Dans ce cas, l'ensemble des communications se réduit au diagramme suivant (*fig.* 7) qu'il est facile de

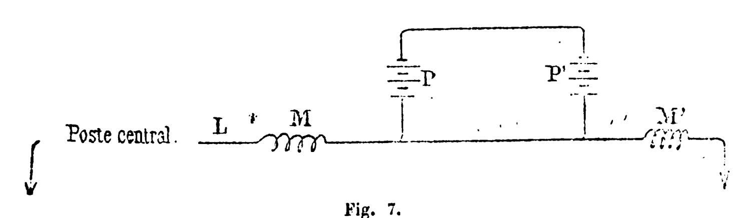


Fig. 7.

retrouver sur la *fig.* 6. Les trois postes, station centrale, A et B, se trouvent en série. Une dérivation placée entre les deux postes A et B contient les deux piles P et P′ associées par leurs pôles de nom contraire. Les voyants I et I′ ne fonctionnent pas; ils n'ont, en

effet, nul besoin d'annoncer que la ligne est occupée puisque les deux intéressés s'en servent.

Un tel dispositif ne nécessite pas un organe de plus que le Ducousso. Il a l'avantage de supprimer toute manœuvre de fiche et de faire travailler les piles au minimum.

Bien qu'il semble naturel de supprimer autant que possible l'emploi d'appareils mécaniques susceptibles de fréquents dérangements et relativement chers, on utilise fréquemment, à Stockholm (*), une véritable station automatique destinée à desservir deux abonnés seulement.

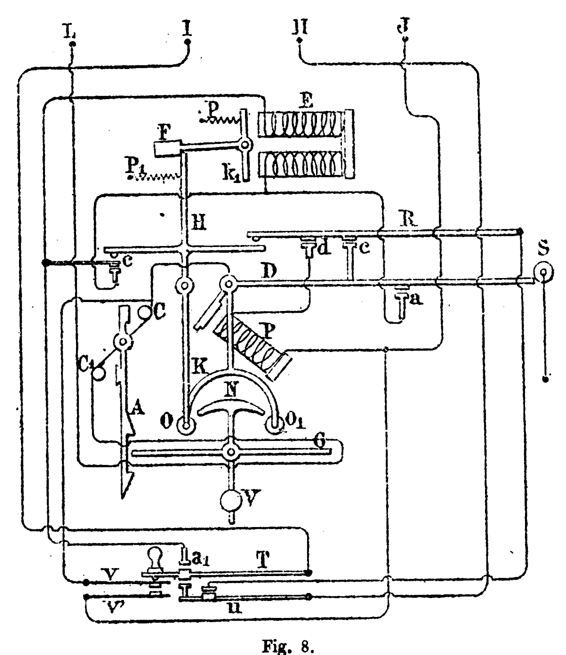


Fig. 8.

L'appareil, représenté *fig.* 8, est installé chez l'un

(*) *Lumière électrique*, t. XXXI, 1889, p. 608.

des abonnés, I par exemple. L est la borne où aboutit la ligne venant de la station centrale, I et II sont reliés aux postes des deux abonnés, et J à la terre.

Pour appeler I, la station centrale emploie un appel magnétique. Les courants arrivés en L traversent un galvanomètre G sans l'influencer et un électro-aimant C, passent par le contact *a*, l'électro-aimant E, le contact a_1, la clef T et se rendent au poste de l'abonné I. Sous l'influence du passage du courant, l'électro-aimant E fonctionne : la tige H peut alors obéir à l'action de son ressort P_1 et fermer le contact *c*. Le courant passe aussitôt directement de *a* à *c* et T. Si l'appel était venu de I, il se serait effectué dans les mêmes conditions, et, tant que l'appareil est dans cette position, l'abonné II peut faire entendre son appel à L, mais est incapable de modifier la position de la station, grâce à l'interruption produite en *d*.

Pour appeler II et causer avec lui, le bureau central envoie tout d'abord un courant de pile. Rendue libre par le fonctionnement de l'électro-aimant *c*, l'aiguille du galvanomètre oscille et, par l'intermédiaire de la fourche $o\,o_1$ détermine le soulèvement du bras D. Le contact *d* est rompu en même temps qu'il s'établit en *c*. Le courant d'appel passe donc par *c*, R, le contact *u*, et va sur la ligne II.

Si II avait voulu appeler, il se serait également servi d'un courant de pile. Celui-ci arrivant par II aurait passé par *u*, R, le contact *d*, et se serait ensuite rendu à la terre par l'électro-aimant P. Le jeu de cet électro-aimant aurait provoqué le soulèvement de D et, par suite, ramené les combinaisons de communications précédentes.

Pour replacer l'appareil dans sa position initiale, une

fois la conversation terminée, le poste central envoie un courant de sens inverse à celui qu'il envoie en temps normal. L'aiguille du galvanomètre oscille en sens inverse et les leviers, H ou D, suivant que l'abonné qui causait était I ou II, sont rappelés au repos.

L'appareil permet, en outre, à I et à II de causer entre eux. Dans ce cas, c'est I qui appelle II, et il lui suffit pour cela d'abaisser la clef T. Un contact v, v', est alors fermé automatiquement, de manière qu'aucun appel de la station centrale ne puisse passer inaperçu. Si II voulait appeler I, il devrait recourir à l'intermédiaire de la station centrale.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'appareil pour se rendre compte que sa complexité est tout à fait hors de proportion avec le but à atteindre. Sa commodité n'est point supérieure à celle des systèmes précédemment décrits. Nous l'avons indiqué ici parce que son principe était complètement différent du principe des appareils précédents. Il ne faut voir, croyons-nous, dans son adoption par les compagnies suédoises, qu'un résultat d'une sorte d'unification de matériel. On assure, au reste, que son fonctionnement est très sûr.

(*A suivre.*) E. ESTAUNIÉ.



CHRONIQUE.

Sur la différence de potentiel des métaux en contact.

Note de M. A. Potier, présentée par M. Mascart.

L'origine de la différence de potentiel, ou plus exactement des charges électriques que l'on observe lorsqu'on réunit, par un circuit métallique, deux plateaux formés de métaux différents, a été l'objet de longs débats : les uns, fidèles aux idées de Volta, y voient la preuve de l'existence d'une force électromotrice au contact des métaux entre eux; les autres, se fondant sur la petitesse des masses qu'il suffirait d'oxyder pour produire les dégagements observés d'électricité, attribuent le phénomène à des actions chimiques. Dans une note récente, j'ai montré que l'accroissement de charge qui accompagne le rapprochement des plateaux du condensateur ainsi formé entraîne une diminution de l'énergie du système matériel; et que le travail mécanique produit n'est que pour une très petite fraction (négligeable dans une première approximation) emprunté sous forme de chaleur au milieu ambiant; cela résulte de ce que la différence de potentiel observée est sensiblement indépendante de la température. Or il est évident que le rapprochement des plateaux n'a d'autre effet que de modifier les charges sur les surfaces en regard; rien n'est modifié à l'intérieur des métaux, ni à leur surface de jonction. L'énergie de ces surfaces dépend donc de la densité de la couche électrique qui les couvre et est modifiée quand une quantité déterminée d'électricité passe d'un plateau à l'autre. La théorie chimique conduit bien au même résultat, mais il est impossible de préciser la nature des actions chimiques qui pourraient se reproduire indéfiniment en changeant de sens, chaque fois que l'on éloigne ou rapproche la surface des plateaux; ces actions offrent, au contraire, la plus grande analogie avec les phénomènes qui ont lieu à la surface des électrodes métalliques plongées dans un liquide, et entre lesquelles

existe une force électromotrice insuffisante pour déterminer la réaction électrolytique.

Expression de la différence apparente de potentiel au contact. — On désignera par M, M_1 les énergies par unité de surface de deux métaux, et on les considérera comme des fonctions des densités électriques ε, ε_1 à la surface de ces métaux. Lorsqu'un circuit métallique réunit les deux métaux et que l'on néglige, vu leur petitesse, les effets thermiques, l'équilibre électrique aura lieu, si l'énergie perdue par le système pendant le passage de l'unité d'électricité d'un plateau à l'autre est égale au travail des forces électromotrices, quelle que soit leur origine, c'est-à-dire à la différence de potentiel observée; si V est l'excès apparent du potentiel du métal M sur celui du métal M_1, on a donc

$$V = \frac{d}{d\varepsilon}(M_1 - M).$$

Cette valeur de V est, dans les circonstances ordinaires, indépendante des charges absolues; on peut donc considérer les variations de M et de M_1 comme proportionnelles à celles des densités.

Lorsque les deux métaux, réunis par un circuit conducteur comprenant une force électromotrice E, sont plongés dans un liquide dont l'énergie superficielle est $L(\varepsilon)$ par unité de surface, la condition d'équilibre électrique est

$$E = \frac{d}{d\varepsilon_1}[M_1 - L(\varepsilon_1)] + \frac{d}{d\varepsilon}[L(\varepsilon) - M],$$

qui, jointe à la condition que les charges totales du liquide au voisinage des électrodes soient égales et de signe contraire, détermine les densités ε, ε_1 sur chacune d'elles. Mais si l'on considère un petit volume comprenant à la fois du métal M_1 et du liquide L, et découpant sur la surface de contact une aire égale à l'unité, son énergie aura varié de

$$\frac{d}{d\varepsilon_1}[M_1 - L_1(\varepsilon_1)] = -P_1$$

pendant le passage de l'unité d'électricité. En l'absence de tout phénomène thermique, P_1 est donc le travail de la force

électromotrice dont cette surface est le siège, par unité d'électricité, ou cette force elle-même.

On en conclut que, si les deux métaux ont des charges électriques égales, la force électromotrice E devra être égale à la différence de potentiel observée dans l'air (vérifié par M. Pellat pour $\varepsilon = 0$).

Relation avec les phénomènes électrocapillaires. — Les recherches de M. Lippmann (*) ont fait connaître comment la tension superficielle du mercure variait avec la force électromotrice. M. Lippmann a démontré de plus la relation $dA + \varepsilon dP = 0$, où A est la tension superficielle, qui est comme P fonction de ε; on peut donc déduire également de ces expériences la relation entre dP et $d\varepsilon$, c'est-à-dire que pour l'eau acidulée, P est connu à une constante près en fonction de ε. De plus, il a été établi, pour le mercure par M. Lippmann et pour le platine par M. Blondlot (**), que la forme de la fonction $\frac{dP}{d\varepsilon}$ est la même pour les dissolutions aqueuses; si donc on déduit des expériences de M. Lippmann la valeur de $P_1 = f(\varepsilon)$, pour un liquide quelconque et un métal quelconque, la force électromotrice sera représentée par $m - l + f(\varepsilon)$, m et l étant deux constantes spécifiques, et l'état normal correspondant à une force électromotrice nulle. Cette formule renferme tous les faits connus jusqu'ici.

Effet Peltier et phénomènes thermo-électriques. — Lorsque l'on veut tenir compte des phénomènes thermiques, ces lois peuvent ne plus être rigoureusement exactes. L'expérience montre que la tension superficielle, et par suite P, est variable avec la température; il en est donc de même de M, L, ... Il résulte alors des principes de la thermodynamique que le passage de l'unité d'électricité d'un plateau à l'autre est accompagné d'absorption de chaleur, prise au milieu ambiant, si l'on opère à température constante; la différence V des potentiels n'est plus égale à $m_1 - m$, mais à la somme de cette quantité et de la chaleur absorbée, dont l'équivalent mécanique est $T \frac{dV}{dt}$, tant qu'il s'agit de phénomènes réversibles,

(*) *Annales de chimie et de physique*, 1875.
(**) *Thèse* et *Journal de physique*, t. X.

et il conviendrait de modifier de même les autres équations ci-dessus. Cette chaleur absorbée comprend l'effet Peltier, véritable mesure de la force électromotrice au contact des deux métaux. Mais les phénomènes thermo-électriques ont si peu d'importance que les conclusions pratiques n'en seraient pas altérées; il suffit d'indiquer qu'ils ne constituent pas une objection, mais sont une conséquence nécessaire de la théorie proposée et dans laquelle le véritable siège de la force électromotrice se trouve non au contact des métaux, mais à leur surface seulement, puisque là seulement ont lieu des modifications pendant la charge et la décharge.

(*Comptes rendus*, 8 avril 1889.)

Effets des radiations lumineuses sur l'aimantation du fer.

On avait considéré jusqu'ici qu'il était impossible de produire l'aimantation du fer ou de l'acier par l'action directe de la lumière. Des expériences récemment présentées par M. *Shelford Bidwell* à la *Société royale* de Londres viennent d'établir que, dans certaines circonstances, l'influence de la lumière sur le magnétisme d'un barreau est absolument certaine, à la condition de donner aux barreaux expérimentés une sensibilité magnétique plus grande dans un sens que dans l'autre. Voici les premiers résultats des expériences si intéressantes de M. S. Bidwell :

On prend un barreau de fer doux de 10 à 12 centimètres de longueur et de 0,5 à 1 centimètre de diamètre, on le porte au jaune vif et on le laisse refroidir lentement. Lorsqu'il est froid, on le place à l'intérieur d'un solénoïde dans lequel passe un courant suffisant pour produire une force magnétisante de 350 à 400 unités C. G. S. Le fer doux retiré du solénoïde manifeste une aimantation permanente; on le dispose alors horizontalement derrière un magnétomètre, et l'on y introduit une bobine munie d'un shunt variable et qui produit une action démagnétisante. La résistance du shunt est augmentée graduellement, pendant qu'on envoie et qu'on supprime successivement le courant dans la bobine jusqu'à ce que le

magnétomètre indique que le barreau est complètement désaimanté, ce qui exige une force de magnétisme variant de 1/13 à 1/25 de la force magnétisante initiale.

Après ce traitement, le fer est modifié et présente des propriétés nouvelles qui le distinguent essentiellement d'un morceau de fer magnétiquement vierge; il a acquis une sorte de dissymétrie magnétique qui favorise son aimantation dans le sens initial, car, placé à l'intérieur d'un solénoïde et soumis à de faibles forces magnétisantes alternativement de sens contraires, il conserve sa polarité primitive, lors même que le dernier courant devrait lui communiquer une polarité inverse.

Ce barreau est remarquablement sensible à l'action de la lumière; s'il est placé derrière le magnétomètre et illuminé par une lampe oxhydrique placée à 70 centimètres de distance, on observe aussitôt une déviation variant de 10 à 200 divisions de l'échelle, l'échelle étant à 1 mètre du miroir, et les divisions étant espacées de 0,64 millimètres.

La grandeur de la déviation observée varie avec la nature du fer. En continuant l'action de la lumière, la déviation augmente. En supprimant la lumière, le magnétomètre revient en arrière, exécute une série d'oscillations et revient au zéro. Le premier mouvement rapide est attribué par l'auteur à l'action des radiations, le mouvement lent subséquent est probablement dû à l'élévation graduelle de température du barreau. En règle générale, l'action lumineuse tend à produire une aimantation de même sens que l'aimantation initiale; dans certains cas, elle dépend des parties illuminées. Les radiations rouges agissent plus que les radiations violettes. En tenant compte de toutes les circonstances, et en particulier de l'instantanéité du premier effet, il ne semble pas douteux que l'effet produit résulte de l'action directe de la lumière.

Ces phénomènes curieux, et encore inexpliqués, doivent être cependant signalés, car ils pourront servir de point de départ à de nombreuses et utiles applications, qu'on sait mieux prévoir qu'indiquer. E. H.

(*L'Électricien*, 4 mai 1889.)

Le meldomètre.

M. Joly, de Dublin, a utilisé pour ses études microscopiques l'échauffement produit par le courant électrique.

Son appareil, auquel il a donné le nom de *meldomètre*, se compose d'une bande découpée dans une feuille de platine, tendue entre deux supports et traversée par un courant dont l'intensité est réglée par une résistance variable intercalée dans le circuit. Cette résistance consiste en une tige de charbon placée verticalement dans un tube en verre; du mercure, renfermé dans un réservoir mis en communication par un tube de caoutchouc avec la partie inférieure du tube de verre, pénètre dans ce tube quand on soulève le réservoir; l'introduction du mercure mettant hors circuit une partie plus ou moins considérable de la tige, la résistance varie, la bande de platine est portée à différents degrés d'incandescence, et les substances minérales placées sur cette bande peuvent être examinées au microscope lorsqu'elles sont en fusion.

Cet appareil est assez puissant pour fondre du quartz, et il peut servir à l'étude de la formation des sublimés.

(*Bulletin international de l'électricité*).

BIBLIOGRAPHIE.

Étude sur la téléphonie, par le Dr Rothen, directeur-adjoint des télégraphes suisses (Berne, imprimerie Rieder et Simmen).

M. Rothen, directeur-adjoint des télégraphes suisses, a eu l'heureuse pensée de réunir en un volume l'excellente série d'articles sur la téléphonie qu'il avait successivement donnés dans le *Journal télégraphique* de Berne, au cours des années 1886, 1887 et 1888. Les lecteurs de cette publication seront certainement heureux de retrouver rassemblés les renseignements qui y figuraient, d'autant que l'étude de M. Rothen s'étend à toutes les parties d'un domaine encore mal connu.

Après quelques chapitres consacrés à la revue rapide de questions touchant à l'ordre administratif, l'auteur nous montre la série des principaux appareils et des installations les plus importantes sur lesquels on possédait seulement des données éparses et qu'il a contribué largement à vulgariser. Il nous serait difficile d'appeler l'attention sur certains chapitres à l'exclusion des autres; ceux sur les récepteurs, les transmetteurs, les appareils accessoires, comme ceux sur l'induction, les lignes, etc., sont pleins de renseignements : chacun offre un intérêt spécial. Nous croyons inutile de dire le soin avec lequel M. Rothen a traité la question des stations centrales. Un praticien de son expérience ne pouvait manquer de faire ressortir les inconvénients présentés par la multiplicité des bureaux centraux dans un même réseau et les avantages attachés à l'emploi de commutateurs multiples recevant les lignes de tous les abonnés. Depuis le moment où M. Rothen a touché ce sujet dans le *Journal télégraphique*, les faits sont venus confirmer de plus en plus les idées qu'il avait exposées. On construit en effet aujourd'hui des multiples d'une capacité de 8.000 à 10.000 abonnés, et l'on ne voit guère de raisons pour se cantonner dans le système de la pluralité des bureaux toutes les fois que le nombre des abonnés n'excèdera pas celui que les dimensions d'un multiple permettent de desservir par une station unique.

M. Rothen a clos l'ouvrage par un appendice où sont mentionnées rapidement les modifications survenues au cours de la publication de son étude dans le *Journal télégraphique*.

Les hommes mêlés aux choses de la téléphonie ne peuvent que remercier l'auteur de leur avoir facilité l'accès d'une mine qu'il avait si consciencieusement explorée.

Guide télégraphique, par M. Villeneuve, inspecteur des postes et des télégraphes; Oberthur, éditeur.

M. Villeneuve vient d'écrire sur le service du contrôleur du service télégraphique technique un opuscule qui répond à un desideratum souvent formulé, s'inspirant de ces souvenirs de l'École des contrôleurs et de ses notes courantes, il a envisagé la question télégraphique sous ses deux faces et divisé

son livre en deux parties, l'une purement administrative, l'autre technique. La partie administrative expose, dans des articles sommaires, toutes les formalités qu'il faut remplir ou provoquer, les démarches à faire, les devis, les pièces à adresser à qui de droit et à des époques déterminées dans les différents cas de service qu'il passe en revue successivement. Dans ces conditions sont étudiés la création des bureaux municipaux, le transfert du service télégraphique à la poste, le changement de local d'un bureau télégraphique, l'établissement des fils de sonnerie dans les différents cas, les lignes d'intérêt privé, les travaux pour le compte des compagnies de chemin de fer, la comptabilité-deniers, la comptabilité-matières, etc.

Ces divers chapitres sont le résumé clair et concis des opérations à effectuer dans le service technique journalier avec renvoi aux pièces ou carnets dans lesquels les écritures doivent être consignées. Cette première partie, absolument utile et nouvelle, est marquée au coin de la plus grande exactitude.

La partie technique forme les deux tiers de l'ouvrage. Sobre de détails rétrospectifs, M. Villeneuve va droit au but et n'envisage que les questions dont le service peut tirer profit. Ainsi ses divers chapitres se rapportent aux questions suivantes : piles et leur mode de groupement, installation des différentes espèces de poste, Morse avec translation ou embrochage, système Duplex, rhéostats et condensateurs, leur réglage, installation des téléphones dans différents cas, construction, entretien des lignes, mesure électrique avec application à différents cas déterminés de dérangements.

Ce livre sera d'une utilité incontestable au personnel studieux des postes et des télégraphes qui trouvera, à côté des règles administratives actuelles, des documents techniques très bien ordonnés.

Gérant : Ve DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1889 Septembre-Octobre

LE CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

DE 1889

L'idée de réunir, en 1889, un Congrès international des électriciens destinés à compléter l'œuvre du Congrès de 1881 devait se présenter tout naturellement à l'esprit. La préparation de l'œuvre fut confiée à une commission d'organisation présidée par M. Mascart.

Cette commission ne se contenta pas de s'occuper de tous les détails matériels, mais élabora encore un programme, composé d'une série de courts articles dans lesquels les savants et les ingénieurs les plus compétents avaient mis au point les questions les plus importantes.

La séance générale d'ouverture eut lieu le 24 août. M. Mascart est nommé président du Congrès ; Sir William Thomson, président honoraire; MM. A. Cochery et G. Berger, présidents d'honneur. Sont nommés vice-présidents : MM. Preece (Angleterre), Ferraris (Italie), Karéis (Autriche), Potier (France), Rousseau

(Belgique), Stoletow (Russie), Weber (Suisse), Edison (U. S. A.).

Le Congrès se divise en quatre sections, s'occupant des questions suivantes :

1re Section. — Unités et mesures ;
2e Section. — Applications industrielles;
3e Section. — Télégraphie, téléphonie et signaux à distance ;
4e Section. — Électrophysiologie.

Ces sections ont tenu séance toute la semaine suivante jusqu'au samedi 31 août. Les parties de la journée non occupées par les délibérations étaient consacrées à des excursions scientifiques à l'Exposition et à diverses usines de nos grands constructeurs électriciens.

Il nous est impossible de donner ici le compte-rendu des débats, qui sera d'ailleurs publié en volume. La majeure partie des séances a été employée à l'exposé de diverses théories et d'expériences fort intéressantes, mais qui avaient paru antérieurement, ou qui ont paru depuis dans diverses revues spéciales d'électricité.

La partie la plus importante des délibérations a porté sur le choix de nouvelles unités. On a proposé de dénommer une unité pratique de champ magnétique, de flux de force, de pression, d'eutropie, de travail, de résistance spécifique, d'induction, d'éclairement. Une commission spéciale fut nommée pour examiner ces diverses propositions et arriva à formuler les conclusions que nous énoncerons dans le compte rendu de la séance générale de clôture.

Au point de vue téléphonique, il s'engagea une dis-

cussion fort complète d'où ressortirent plusieurs points importants que nous signalerons plus bas.

La séance générale de clôture eut lieu le 31 août.

M. Carpentier y rendit compte du caractère de permanence absolue que présentent les étalons de résistance en mercure. Ensuite le Congrès adopta les propositions suivantes :

L'unité pratique de travail est le *joule*. Il est égal à 10^7 unités C. G. S. de travail. C'est l'énergie dépensée pendant une seconde par un ampère dans un ohm.

L'unité pratique de puissance est le *watt*. Il est égal à 10^7 unités C. G. S. de puissance. Le watt est égal à un joule par seconde.

Dans la pratique industrielle, on exprimera la puissance des machine en kilowatts, au lieu de l'exprimer en chevaux-vapeur (*).

Pour évaluer l'intensité d'une lampe en bougies, on prendra comme unité pratique, sous le nom de *bougie décimale* (**), la vingtième partie de l'étalon absolu de lumière défini par la Conférence internationale de 1884.

L'unité pratique de coefficient d'induction est le *quadrant*.

$$1 \text{ quadrant} = 10^9 \text{ centimètres.}$$

La *période* d'un courant alternatif est la durée d'une oscillation complète.

La *fréquence* est le nombre de périodes par seconde.

L'*intensité moyenne* est définie par la relation

$$I_{moy} = \frac{1}{T}\int_0^T I\,dt.$$

(*) Le kilowatt équivaut à 102 kilogrammètres et le cheval-vapeur vaut 75 kilogrammètres (par seconde).

Un congrès de mécanique, qui s'est tenu comme le Congrès des électriciens pendant l'Exposition universelle, a proposé comme unité de puissance le *poncelet* représentant 100 kilogrammètres. Le poncelet et le kilowatt seraient peu différents; il serait désirable de n'introduire qu'une seule dénomination nouvelle. *N. de la R.*

(**) La bougie décimale ainsi définie, se trouve être très sensiblement égale à la bougie anglaise (*Candle standard*) et au dixième de la Carcel.

L'*intensité efficace* est la racine carrée du carré moyen de l'intensité du courant.

La *force électromotrice efficace* est la racine carrée du carré moyen de la force électromotrice.

La *résistance apparente* est le facteur par lequel il faut multiplier l'intensité efficace pour avoir la force électromotrice efficace.

Dans un accumulateur, la plaque positive est celle qui est reliée au pôle positif de la machine pendant la charge, et qui est le pôle positif pendant la décharge.

Le Congrès recommande comme moyen de déterminer le degré d'incandescence d'une lampe, la méthode proposée par M. Crova et adoptée par la deuxième section.

Le double fil est adopté pour les réseaux téléphoniques urbains et les lignes interurbaines.

On désigne par l'appellation d'*interurbaine* toute communication téléphonique donnée entre deux abonnés ou cabines publiques faisant partie de groupes différents.

Quant à la proposition suivante :

L'unité de conversation interurbaine est fixé à trois minutes,

après une courte discussion, le Congrès décide que la proposition présente un caractère trop administratif pour être adoptée en séance plénière, tout en conservant sa valeur comme vœu émis par la troisième Section.

M. Mascart clôt ensuite les travaux du Congrès en donnant rendez-vous à ses collègues au prochain Congrès international des électriciens, qui se tiendra aux État-Unis en 1892.

E. B.

UNE ÈRE NOUVELLE EN TÉLÉPHONIE

L'organisation de la téléphonie est actuellement à l'étude non seulement en France mais dans la plupart des autres pays. Les principes et les règles à suivre étant encore en discussion, nous croyons utile de reproduire ici par extraits à titre de renseignements, un mémoire de MM. A.-S. Hibbard, J.-J. Carty et F.-A. Pickernell, lu au congrès téléphonique de Minneapolis.

Les auteurs n'ont pas entrepris de décrire des installations particulières ou des systèmes nouveaux. Ils se sont bornés à indiquer les tendances qui se font jour aux États-Unis, après une longue période de tâtonnements, pour l'emploi méthodique des appareils et des procédés déjà connus et expérimentés. Leurs propositions motiveraient quelques réserves. Mais ils ont pris soin, en passant en revue les divers organes qui entrent en jeu dans l'établissement des communications téléphoniques, de signaler les types et les dispositions qui ont donné les meilleurs résultats aux compagnies américaines. Ils ont surtout fait ressortir quelle importance s'attache aux moindres détails de la construction des lignes, de l'installation des appareils et de l'aménagement des bureaux téléphoniques.

A ces divers points de vue, les extraits de ce mémoire ne sauraient manquer d'intéresser les lecteurs des *Annales*.

Depuis trois ou quatre ans on a beaucoup écrit et parlé sur la téléphonie à grande distance et sur le service de l'*American Telephone and Telegraph Com-*

pany, de New-York. On a annoncé que cette compagnie avait fait des expériences très satisfaisantes aussi bien sur de courtes que sur de longues lignes, et à mesure que les lignes dites à longues distances se sont développées, on a constaté dans plusieurs villes de l'Est que ces résultats n'avaient pas seulement une valeur expérimentale, qu'ils étaient pratiques et que le service téléphonique était si parfait, même pour de longues distances, qu'il est devenu un des plus puissants organes de l'outillage commercial, et qu'il est aussi sûr que la poste et le chemin de fer. Le développement continuel et rémunérateur du service sur les longues lignes a montré que le public sait apprécier une bonne exploitation téléphonique toutes les fois qu'il la rencontre et l'on peut dire que le besoin de ce service perfectionné a inauguré une ère nouvelle en téléphonie.

Quelques améliorations ont bien été introduites dans les appareils, mais la plus importante est certainement celle qui a été réalisée dans l'emploi judicieux des circuits métalliques où l'on a pu, de cette manière, vaincre les difficultés provenant de l'induction des lignes voisines de téléphonie, de télégraphie, d'éclairage électrique et de transport de force, ainsi que remédier aux perturbations occasionnées par les courants atmosphériques ou telluriques. On a pu travailler avec succès sur des fils comprenant des sections de câbles sous-marins ou souterrains beaucoup plus grandes que celles où l'on avait fait autrefois des essais. On a installé des tableaux pour circuits métalliques même dans les grands bureaux centraux pouvus du « multiple », on a fourni aux abonnés des appareils à grande distance. On a en résumé adopté tout ce qui paraissait nécessaire pour le nouveau service. Quelque essentielles que soient ces

diverses parties des installations, elles n'auraient cependant pas suffi à atteindre le but.

L'*American Telephone and Telegraph Company* a constaté que les méthodes usitées dans les réseaux à fils simples, ne donnaient pas de résultats satisfaisants appliquées aux circuits métalliques. Plusieurs changements radicaux ont été faits. L'importance qu'il y a à maintenir la symétrie parfaite des deux fils du circuit dans toute sa longueur a été confirmée, c'est une condition nécessaire pour bien fonctionner et le maintien de cet équilibre exige la plus grande attention dans tous les détails.

Comme exemple des pratiques aujourd'hui suivies, je vais vous donner en détail la spécification normale d'un circuit métallique local et de ses annexes.

Le poste de l'abonné reçoit un meuble pour téléphonie à grande distance. C'est un petit bureau (*), monté sans croisement de fil, avec appel et sonnerie magnéto, crochet commutateur, à contact de platine, paratonnerres, à lames de mica d'environ 3 centimètres carrés et paratonnerre à fil fusible brûlant par un courant de un demi-ampère. Au-dessous de la bobine se trouve une armoire à pile capable de loger trois éléments de 15×20 centimètres. Un bouton poussoir permet à l'abonné de mettre hors du circuit, pendant qu'il écoute, le fil secondaire du transmetteur, ce qui diminue le retard du courant et supprime les perturbations microphoniques causées par le transmetteur.

On emploie généralement pour ce poste trois éléments d'une pile à circuit ouvert. La résistance intérieure de chaque élément ne doit pas dépasser un demi-ohm et

(*) Un spécimen de ce petit bureau, de forme très élégante, a figuré à l'Exposition universelle (section des États-Unis). (*N. de la R.*)

sa force électromotrice ne doit pas tomber de plus de 15 p. 100 après que les trois éléments, reliés en série, ont été pendant 20 minutes formés sur une résistance de 7 ohms. Dans les cas où le transmetteur doit servir pendant des périodes plus longues, il faut employer une pile à courant constant; nous trouvons que la pile Fuller est celle qui donne alors les meilleurs résultats. Le montage intérieur est fait avec du fil de cuivre de $1^{mm},024$ de diamètre; l'isolant, imperméable à l'eau, porte le diamètre à $3^{mm},175$; autant que possible, on fixe avec des agrafes en bois.

Les fils pénètrent dans les maisons à travers des tubes en ébonite, inclinés de manière à empêcher l'entrée de l'eau. Depuis ce point jusqu'au toit, on emploie du fil recouvert de caoutchouc allant jusqu'aux conducteurs aériens, tous les raccords étant faits avec le manchon Mac Intire (*) ou soudés. Les fils de ligne sont en cuivre dur, d'un diamètre minimum de 2 millimètres et supportés tous les 38 mètres. Le fil de cuivre se recommande par sa bonne conductibilité et sa faible capacité électrostatique, son coefficient de self-induction peu élevé et enfin sa durée. Une fois posé le fil de cuivre se détériore peu, les gaz répandus dans les grandes villes n'ayant sur lui qu'une très faible action; sa durée est beaucoup plus grande que celle des fils de fer ou d'acier, de sorte qu'il finit par être plus économique.

Les raccords du fil de cuivre dur sont effectués à l'aide du manchon Mac Intire.

Les deux fils d'un circuit métallique doivent être placés sur deux supports voisins et de manière que leur distance relative par rapport aux autres fils soit

(*) *Annales télégraphiques*, t. XIV, 1887, p. 498.

toujours la même sur tout leur parcours. Ceci a une grande importance lorsque la boucle est assez longue pour nécessiter des croisements. Lorsque les supports scellés au sommet de la maison sont exposés, il ne faut employer que du fil isolé, imperméable à l'eau. Des fils conducteurs ayant au moins 1 millimètre de diamètre et $3^{mm},97$ avec leur isolant, qui doit être d'excellente qualité, passent par des crampons en bois fixés au-dessous de la traverse, puis par les tuyaux en bois adaptés à l'arrière de ces traverses, ou par des câbles spécialement construits à cet effet, et relient le point d'attache du câble à la tourelle. Les fils conducteurs doivent être reliés aux fils de ligne soit par des manchons Mac Intire soit par des soudures, mais il faut avoir bien soin de ne pas faire de soudure au fil de ligne entre deux supports, car l'échauffement du fil de cuivre dur en réduit la ténacité.

Lorsqu'on emploie pour l'arrivée du câble une boîte en bois, elle est en sapin de 38 millimètres, bien huilée à l'intérieur et soigneusement peinte à l'extérieur avant d'être mise en place. Les joints sont enduits de céruse. Les dimensions intérieures doivent être suffisantes pour y installer le bout du câble, les paratonnerres et les fils de raccord. Ceux-ci y sont reliés aux paratonnerres à plaque et à fil fusible.

En vue de protéger le câble contre les fortes décharges électriques, on dispose vers l'extérieur des paratonnerres à fils fusibles et des paratonnerres à plaque ou à pointes de construction convenable. Le fil fusible placé en ce point est choisi de manière à brûler par un courant d'un ampère, c'est-à-dire qu'il supporte un courant double de celui supporté par le paratonnerre du bureau central.

Le câble est ainsi protégé et on prévient la rupture d'un grand nombre de bobines en des points éloignés du bureau pour la localiser au bureau, c'est-à-dire en un endroit où les réparations en sont faciles. Les fils extérieurs arrivent d'abord aux paratonnerres à plaque qui conduisent les décharges atmosphériques à la terre au poteau de coupure et empêchent la destruction d'un grand nombre de fils fusibles. Les plaques de terre des paratonnerres doivent être reliées à un sol humide au moyen de conducteurs indépendants de l'armature du câble et ayant une conductibilité triple de celle du fil de ligne. Une torsade de trois fils (nº 12) de cuivre dur convient bien. Les paratonnerres doivent être reliés aux extrémités du câble par du fil isolé, imperméable à l'eau.

Les bornes d'attache des extrémités du câble doivent être disposées deux à deux, de manière que les deux fils du même circuit soient exactement vis-à-vis l'un de l'autre.

Si le câble ne nécessite pas de boite terminale, on le relie directement aux bornes des paratonnerres dans l'ordre indiqué ci-dessus. Il est bon de n'employer que des bornes à contre-écrou, notamment à l'extrémité du câble.

Le câble souterrain doit être logé dans un tube de fer, depuis le sol jusqu'à son extrémité.

Ces câbles arrivent généralement par plusieurs conduites à l'immeuble où se trouve le bureau. Il est essentiel qu'à leur point d'entrée les câbles puissent être facilement accessibles à un moment quelconque. On a reconnu qu'il fallait les disposer symétriquement sur deux lignes verticales, en les fixant au moyen de crochets fichés dans des montants ou dans le mur. Ce

système doit être appliqué à chaque angle ou à chaque endroit où l'on peut avoir besoin d'approcher des câbles pour les manier.

Rien d'analogue n'a été fait dans la plupart des nombreuses installations actuelles de câbles souterrains, on les a attachés indistinctement et sans aucune méthode régulière. Il en résulte qu'il est très difficile d'ajouter un câble et complètement impossible d'en retirer sans déranger tout le système.

Les recommandations relatives au bureau central conduisent à traiter la question plus vaste du bâtiment même affecté aux téléphones et qui doit être disposé spécialement en vue du fonctionnement des tableaux et de leurs accessoires. L'édifice doit avant tout être à l'abri de l'incendie; la salle des appareils doit être au dernier étage. Il faut avoir soin que les câbles souterrains arrivent à une cheminée de dimensions suffisantes aboutissant à une pièce réservée à la distribution et à l'essai des fils. A proximité, il doit y avoir une chambre des piles et de force motrice de grandes dimensions contenant les générateurs, les moteurs, les piles générales et les piles d'essai, les conduites d'eau et autres accessoires nécessaires.

La forme de la salle des appareils est évidemment subordonnée notablement aux conditions locales, mais on doit tenir compte d'avance du développement définitif dont le bureau central est susceptible. Lorsque le commutateur ne peut être disposé en ligne droite, il est préférable que les employés soient à l'intérieur d'un cercle qu'à l'extérieur; la surveillance est plus facile. Le bureau doit être dégagé de tout monte-charge ou autre disposition gênante; il ne doit jamais servir de passage.

Nous croyons qu'en raison de l'affectation spéciale du bâtiment des téléphones il faut que l'ingénieur et l'architecte, avant de faire les plans, déterminent définitivement l'espace que les différents services occuperont et arrêtent notamment leurs relations avec la salle des communications, car, dans un bâtiment construit sans tenir compte au préalable de la répartition du service, il est presque impossible de faire une bonne installation téléphonique.

Les câbles souterrains doivent être du type bien connu dit « de la conférence », en fils n° 18 B et S, cordés deux à deux. Au bureau central, ils doivent arriver aussi près que possible de la salle des appareils où ils seront arrêtés et reliés à des paratonnerres à fils fusibles brûlant avec un courant d'un demi-ampère. De là les circuits sont amenés par des câbles intérieurs à paires de fils cordés jusqu'au tableau de distribution puis aux commutateurs. Ce tableau de distribution doit être construit de manière que les fils puissent toujours être amenés des bornes de ligne à un numéro quelconque des commutateurs, les fils de distribution restant aisément maniables. Les fils de distribution doivent être recouverts de caoutchouc, cordés deux à deux et soudés aux points de jonction.

Il est particulièrement recommandé de fixer les boîtes terminales sur des panneaux incombustibles; le tableau distributeur doit l'être également.

Les fils peuvent être essayés aux paratonnerres à fil fusible soit vers l'extérieur sur la partie souterraine, soit vers l'intérieur.

La salle d'essai doit être pourvue d'un poste téléphonique pour communiquer avec le chef du bureau, de circuits traversant les commutateurs, de fils abou-

tissant aux tables des générateurs, d'autres permettant d'atteindre les boîtes terminales. On aura aussi un poste Morse, avec relais et manipulateur, pile, galvanomètre et pont de Wheatstone.

S'il n'est pas nécessaire que chaque bureau central soit pourvu d'autres appareils plus délicats pour la mesure de l'isolement et de la capacité, il est bon que chaque compagnie possède ces instruments et qu'on puisse les relier pour les essais à travers le poste de l'inspecteur en chef.

Dans les grands bureaux, il est prudent de placer un commutateur pour circuits métalliques. Le nombre de circuits par groupe dépendra essentiellement du nombre moyen de communications par jour. On admet qu'un opérateur dessert environ 100 lignes s'il n'est pas dérangé par la confection de tickets ou par le service de lignes auxiliaires ou interstationnaires. Si le réseau comprend des bureaux succursales, il est préférable que les lignes interstationnaires soient desservies par le premier ou par les deux premiers groupes, et que les lignes à longues distances aboutissent au premier. On pourra y donner des communications demandant des écritures (stations payantes ou lignes à grande distance). Le téléphone d'un employé chargé des fils interstationnaires devra être autant que possible relié à un « circuit de service », de manière que les appels des succursales soient reçus au téléphone. Les appels, néanmoins, doivent pouvoir également être faits à la façon ordinaire sur les fils interstationnaires.

Aux sections d'abonnés seront établis trois jeux d'appareils ; le montage sera le montage courant, sauf qu'on usera de fiches, de cordons et de clefs d'appel

pour double fil; le microphone sera en dérivation, non en embrochage. Les circuits de ligne traverseront le commutateur, mais les fils de ligne et d'essai seront cordés deux à deux. Après avoir traversé le dernier groupe, les circuits passent par un distributeur intermédiaire; les circuits y peuvent être dirigés sur tel ou tel annonciateur d'appel.

L'annonciateur doit avoir une grande résistance et une forte self-induction; on choisit de préférence l'annonciateur tubulaire en le plaçant en dérivation sur le circuit qui arrive également au poste de réponse à ce dernier point le circuit est ouvert jusqu'à ce qu'on insère une fiche.

Cet arrangement permet d'employer l'annonciateur de ligne comme annonciateur de fin de conversation. Depuis deux ou trois ans, on a apprécié l'avantage d'avoir le même annonciateur pour les deux objets, notamment dans l'emploi du système à une corde où la surveillance des appels et des fins de conversation est vraisemblablement faite avec plus de soin que nulle autre part.

Ces dispositions permettent de relier deux circuits métalliques en conservant tous les avantages.

Dans tous les cas où des circuits à un fil sont prolongés jusqu'au bureau au moyen de câbles à circuits métalliques, il faut que les fils soient mis à la terre à l'extrémité extérieure du câble et le fil inutilisé de la paire intérieure également.

Par conséquent, lorsqu'un circuit relié à la terre est réuni à un circuit métallique par l'intermédiaire de ce fil de retour, l'extrémité du câble qui est à la terre participe aux bénéfices du circuit métallique; au delà de ce point il est évident que le fil unique sera sujet

aux perturbations habituelles; le fil de retour n'est nullement abandonné, il est utilisé sur la longueur du câble. Lorsque deux fils simples sont réunis ensemble, ils sont pratiquement garantis contre les influences des fils voisins sur tout le parcours des câbles.

Comme ces fils entrent par couples dans le bureau, il est essentiel que chacun d'eux puisse être reconnu sur toute sa longueur; il a été convenu que dans les câbles et le commutateur, on emploierait le fil blanc pour la ligne et le fil de couleur pour l'essai.

A mesure que les circuits métalliques prennent de l'extension, on se demande souvent comment les utiliser pour deux ou plusieurs abonnés sur le même circuit. Il est probable que le mieux serait d'établir les divers appareils en pont sur les deux côtés du circuit métallique et de munir chaque poste d'un appel magnétique à grande résistance et à grande self-induction. On maintiendrait ainsi la symétrie sans avoir à modifier en rien les appareils usuels.

Jusqu'à présent, on a eu l'habitude d'embrocher dans le circuit les appareils intermédiaires.

Au début de l'emploi des circuits métalliques on a persisté dans cette voie et on a bouclé des appareils additionnels sur un côté du circuit. Mais cette disposition détruit l'équilibre, et l'appareil installé dans ces conditions sera sujet à des perturbations aussi fortes que la ligne pourra les produire, et sera une source de dérangements pour les autres postes en ligne au même instant. Mais en les montant en pont sur le circuit, on

(*) On fera observer ici que cette importance de la symétrie est depuis longtemps reconnue en France, en Belgique et en bien d'autres pays d'Europe où l'on emploie les circuits métalliques. (Voir *Lumière électrique*, t. XXIX, 1888, p. 157.)



n'éprouve aucune perte dans la transmission, si les bobines ont une self-induction suffisante, et on maintient l'équilibre électrique nécessaire pour le bon fonctionnement du circuit métallique. On a également imaginé des systèmes dans lesquels un troisième fil d'appel est adjoint au circuit métallique et passe par les appels magnétiques de tous les appareils; ce fil est coupé dès que le téléphone est retiré de son crochet. Il paraît qu'à l'époque où l'on avait imaginé ce dernier système, on n'avait pas encore complètement apprécié à sa juste valeur le montage en dérivation.

Dans quelques cas, on a essayé de remédier aux perturbations venant des circuits voisins de lumière ou de force sur les lignes militaires, en employant un fil de retour commun. Cette méthode a présenté des avantages pour quelques installations de fils simples; mais le fil de retour commun est à rejeter comme partie constituante de circuits métalliques.

Il est évident qu'un grand nombre de nos réseaux munis de « multiples » sont actuellement montés seulement pour fils simples et ne peuvent dès lors être disposés comme il vient d'être dit. On y a cependant fait des demandes de circuits doubles et d'appareils propres aux communications locales ou lointaines. L'avantage qu'on y trouve est d'écarter dans une large mesure l'ennui des indications locales.

Ces circuits pourraient être installés d'après le système connu sous le nom d'embrochage combiné.

Il consiste en un circuit métallique local disposé de manière à passer par le commutateur à longue distance ou à circuit métallique, où l'un des côtés est à la terre, tandis que l'autre traverse le bureau local comme un fil simple, installé dans les conditions ordi-

naires. En local, le fil est desservi comme d'habitude, mais au commutateur de combinaison le circuit arrive à deux jacks et est desservi au moyen d'une fiche double. Si, combinés avec un « multiple », les jacks sont disposés de manière à donner comme à l'ordinaire l'indication « ligne occupée » lorsque la fiche est entrée, le circuit formé par la fiche et le cordon doubles à ce tableau de combinaison a toutes les qualités requises pour le travail à longue distance. On a constaté également que dans les multiples à fils simples une grande partie de l'induction qui existe avec l'ancienne méthode de pose des fils pouvait être combattue par l'usage de chevilles et cordons doubles, en reliant directement au sol l'enveloppe extérieure de la fiche; le fil d'essai est ainsi mis à la terre, indépendamment du fil de ligne. Pendant la période de transition entre le système à simple fil et celui à circuit métallique, il semble donc qu'on doive recommander l'emploi de commutateurs à combinaison et de fiches et cordons doubles pour le multiple.

Dans un grand nombre de villes de l'Est traversées par les lignes de la « Compagnie de téléphonie à longue distance » on a installé des tableaux à double fil pour les desservir, ainsi que les circuits métalliques locaux qu'on aurait à y amener. Pour éviter les pertes et les dérangements, on a cru devoir relier chaque fil du circuit métallique à un jack particulier. Ces jacks sont disposés par couples et manœuvrés au moyen de deux fiches ordinaires réunies par une même pièce d'ébonite. A côté se trouve un commutateur d'essai où tous les fils peuvent être coupés pour y être essayés d'un côté ou de l'autre. Un ou plusieurs circuits aboutissent à des bobines répétitrices dont le second circuit se

continue en fil simple dans le bureau du réseau local.

Les lignes à grande distance ont, peut-être plus que toutes autres, été construites de manière à donner un excellent service.

On peut noter que sur la ligne de 25 fils, de New-York à Philadelphie, il y a probablement aujourd'hui moins d'interruptions qu'il n'y en a jamais eu, et que l'on n'y a constaté aucune détérioration.

Les effets d'induction d'un circuit sur l'autre ont été sérieusement étudiés sur ces lignes à longue distance et on a, pour les diminuer, imaginé un système de transposition des fils qui a donné de bons résultats.

Avec les lignes ordinaires où les fils sont disposés à 30 centimètres d'intervalle sur les traverses, on a reconnu que sur une longueur d'un mille les effets d'induction entre circuits métalliques adjacents sont insensibles lorsqu'on emploie le transmetteur actuel à longue distance et le téléphone à main.

En se basant sur ce fait, on a organisé un système de transpositions dans lequel les deux branches du circuit métallique soumis aux influences perturbatrices sont échangés à des distances d'un mile, de manière que lorsqu'on arrive à l'autre extrémité de la ligne, chaque branche du circuit a subi la même action.

Lorsque les circuits métalliques sont disposés de cette manière, les effets d'induction disparaissent complètement si les perturbations sont occasionnées par des circuits d'éclairage ou de chemins de fer électriques, il est évident que les transpositions doivent être plus fréquentes, car la longueur des sections exposées à ces influences dépend de l'intensité des courants perturbateurs. Le meilleur moyen d'effectuer mécaniquement ces transpositions consiste à faire

usage d'un isolateur double spécialement imaginé à cet effet et formé de deux isolateurs placés au-dessus l'un de l'autre. Le champignon de l'isolateur inférieur est percé d'un trou qui laisse passer la tige sur laquelle est vissé l'isolateur supérieur.

Le fil de gauche est tourné autour de l'isolateur, puis on le tend parallèlement à la traverse et on le fait passer en arrière et autour de l'isolateur supérieur de droite. Le fil de droite passe autour de l'isolateur inférieur de droite, puis en arrière et autour de l'isolateur inférieur de gauche. Les fils sont ligaturés aux isolateurs par la méthode ordinaire. Lorsqu'on veut croiser des fils existants, les fils sont naturellement de part et d'autre de leurs isolateurs respectifs, et, dans ce cas, on fait le croisement à l'aide d'un bout de fil isolé rigide que l'on attache aux deux fils. Lorsqu'il y a un grand nombre de fils à transposer, le problème devient plus compliqué et doit être exécuté par un ingénieur compétent.

Si un circuit téléphonique double est bien construit, il ne doit y avoir aucune perturbation et le service doit être parfait. Mais tout écart de règles est préjudiciable aux résultats et doit être proscrit.

Ce que nous avons appelé « une ère nouvelle en téléphonie » et dont nous avons essayé de donner quelques détails, n'est pas absolument nouveau. C'est un facteur commercial dont le public se préoccupe. Plusieurs de nos grands réseaux ont été reconstruits de manière à satisfaire aux exigences de la situation, entre autres à New-York, qui a environ 10.000 lignes et près de 50 milles de câble (type de la conférence) ; à Buffalo, à New-Haven, toute l'installation est remaniée et les appareils pour circuits métalliques seront

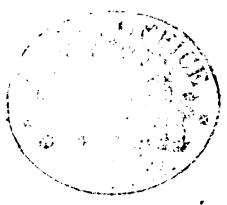
bientôt établis à Baltimore et dans onze villes de la Nouvelle-Angleterre.

Nous n'avons jamais entendu dire que le service d'un réseau téléphonique fut trop bien fait; cela tient probablement à la nature même de cette exploitation.

Il n'y a peut-être pas aujourd'hui un bureau qui ne représente ce qu'il y avait de mieux conçu à l'époque de la construction. Mais, eu égard aux progrès modernes, nous y voyons trop de câbles à un fil, des fils trop petits, etc., témoignages de l'expérience si chèrement acquise dans le passé. Nous voyons aussi des bureaux surchargés d'employés, comme si le nombre d'agents était une nécessité du service et ainsi de suite. Bien des perfectionnements modernes sont inutiles parce qu'ils sont mal appliqués et mal compris.

Dans la nouvelle ère, dans la période qui s'ouvre, il faut obtenir un service parfait, et abandonner définitivement les errements surannés. Nos compagnies sont unanimes à dire que rien n'est trop bon pour le service; cela est vrai, mais cette déclaration importe peu à ceux qui ont charge du service. Ce qu'ils demandent, c'est qu'on multiplie pour eux les sources d'information et qu'ils puissent savoir exactement ce qui est profitable au service.

Une transformation s'annonce dans notre service; les abonnés la voient et l'apprécient; il appartient aux ingénieurs, par d'habiles mesures, de l'achever et de satisfaire à tous les besoins.



NOUVEAU DISPOSITIF TÉLÉPHONIQUE

Au cours d'essais téléphoniques récents poursuivis sur le câble de Calais à Douvres, on fut amené à reprendre un dispositif que M. de la Touanne avait expérimenté en 1885 sur la ligne aérienne de Paris à Reims. Il avait constaté qu'un électro-aimant mis en dérivation entre les deux fils (*fig.* 1), non seulement ne gênait pas

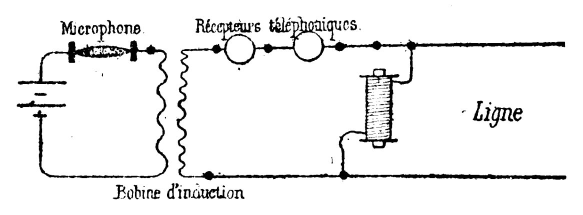


Fig. 1.

la correspondance téléphonique, mais encore paraissait l'améliorer à chaque poste extrême (*). Le procédé en question donna également sur le câble Calais-Douvres une certaine amélioration.

Il était donc naturel de vérifier si la même méthode ne serait pas en défaut sur des câbles plus longs. C'est ce qui a été fait au cours des expériences de téléphonie

(*) M. de la Touanne, avec qui je poursuivais les expériences sur le câble, me fit d'ailleurs remarquer qu'il avait peu après retrouvé dans le *Journal télégraphique de Berne* (t. VII, 1883, p. 15) la description d'essais faits plus de trois ans auparavant par M. Hissink, à Sumatra, entre Lahat et Kottaboemi, sur une ligne à fil simple, et qui semblent tout à fait analogues à ceux effectués ultérieurement sur la ligne Paris-Reims.

entreprises sur la ligne souterraine de Paris à Beauvais.

La ligne était constituée au moyen de deux conducteurs se suivant côte à côte dans le même câble ; sa longueur était de 80 kilomètres environ ; la résistance totale de chaque fil était de 670 ohms, la capacité électrostatique de chacun de ces conducteurs était de $15^{\varphi},6$; et l'isolement kilométrique atteignait 1.000 mégohms.

Remarquons immédiatement que le produit CR de la résistance par la capacité exprimée en microfarads est ici supérieure à 10.000, et que si l'on admet la règle empirique de M. Preece, on se trouvait dans des conditions défectueuses de communication.

De fait, l'installation ordinaire donnait une audition tellement médiocre qu'elle était franchement inacceptable pour une exploitation courante.

D'après ce qui a été dit ci-dessus, on était porté à espérer une amélioration par la mise en dérivation sur la ligne de bobines présentant un certain coefficient d'auto-induction, conformément au diagramme de la *fig.* 1. On a donc essayé diverses bobines ; les unes ont donné un résultat contraire à celui qu'on en attendait ; avec les autres, l'audition demeurait tellement médiocre que l'on ne pouvait pas distinguer nettement si leur effet était utile ou fâcheux.

Ce résultat semblait contradictoire avec ce qui avait été observé dans des conditions analogues sur le câble Calais-Douvres ; toutefois, j'avais remarqué que les bobines mises en dérivation sur le câble du Pas-de-Calais avaient été d'autant plus efficaces que leur coefficient d'auto-induction était plus faible par rapport à leur résistance. Malheureusement on n'avait pas pu,

dans les expériences entre les côtes française et anglaise, faire varier ce rapport entre des limites bien étendues, faute de bobines convenablement appropriées, et l'on se trouvait dans la même situation pour les essais entrepris sur la ligne souterraine de Paris à Beauvais.

Néanmoins, l'explication naturelle de la contradiction apparente entre les faits semblait être celle-ci : que la dérivation dans les premières expériences n'avait produit d'effet favorable sur la transmission qu'en tant que dérivation ordinaire, et qu'à partir d'une certaine capacité sur la ligne son auto-induction, au moins avec les valeurs que présentaient nos diverses bobines, introduisait dans le circuit un élément fâcheux en général et nettement nuisible dans le cas de la ligne Paris-Beauvais.

Partant de cette remarque et m'appuyant sur la théorie, dont je vais donner un aperçu sommaire, je reconnus qu'il y aurait avantage à prendre comme dérivation les récepteurs eux-mêmes, dont le coefficient d'auto-induction, comme on le sait, est très faible et égal à environ 0,15 quadrant.

D'après cela, le circuit téléphonique devait être constitué, à chaque poste, comme l'indique la *fig.* 2.

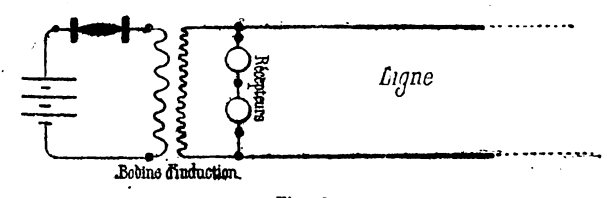


Fig. 2.

Si, dans le circuit ainsi établi, on ne considérait que les résistances, il est clair que, d'après la loi d'Ohm,

l'intensité dans le récepteur à l'arrivée serait en général bien plus faible qu'avec la disposition ordinaire. Si, en particulier, on appliquait cette loi au cas de l'expérience en question, on trouverait que l'intensité ne serait plus que les 16/100 environ de l'intensité obtenue avec les appareils ordinaires installés tous en série comme ils le sont d'habitude.

Mais, en réalité, il faut, en outre, faire intervenir dans les calculs les coefficients d'auto-induction des appareils et de la ligne, et surtout la capacité de celle-ci.

En vertu de cette capacité, le transmetteur peut, à l'origine de l'émission, fournir à la ligne une intensité bien supérieure à celle qui est indiquée par la loi d'Ohm : c'est le courant de charge.

D'un autre côté la dérivation des récepteurs, *au départ*, permet à la ligne de se décharger, dès que la force électromotrice baisse, sans rencontrer d'obstacle sérieux, vu le faible coefficient d'auto-induction desdits récepteurs.

Et enfin, *à l'arrivée*, le courant se propagera de préférence dans les téléphones du poste qui écoute, en évitant en quelque sorte, à cause de son auto-induction, le fil secondaire de la bobine qui, dans l'installation habituelle, oppose un obstacle sérieux à la propagation du courant dans le circuit commun aux récepteurs.

En d'autres termes : *au départ*, les courants ordinaires se propageront dans le circuit local comprenant le fil secondaire de la bobine d'induction et les récepteurs ; *sur la ligne* chaque fil représentant l'armature d'un condensateur tendra à s'élever au potentiel du point du circuit local avec lequel il est en contact, se chargera électrostatiquement et transmettra son po-

tentiel au point correspondant du circuit local d'arrivée ; et dans ce dernier circuit, *à l'arrivée*, se propagera le courant qu'y détermine la différence de potentiel créée par chacun des fils de ligne.

De la sorte, il semble qu'au lieu d'éliminer ou d'atténuer les effets des courants de charge et de décharge de la ligne, on n'utilise, au contraire, que ces courants variables, les courants ordinaires étant dérivés presque entièrement dans le circuit local du poste transmetteur, qui ne présente plus la même complexité et où ils peuvent se propager facilement.

Par ce qui précède, je ne donne qu'une esquisse, une sorte d'analyse qualitative des phénomènes, car mon intention est de reprendre les calculs approchés que j'avais dû faire à la hâte pour le cas de la ligne Paris-Beauvais, et d'en chercher l'application aux cas de lignes de capacité et de résistance plus élevées.

L'expérience a confirmé les vues théoriques exposées ci-dessus.

Devant les mauvais résultats obtenus sur la ligne souterraine Paris-Beauvais au moyen de meilleurs appareils installés à la façon ordinaire, je demandai de Beauvais à mon correspondant de Paris, le 10 octobre au soir, de mettre ses récepteurs, comme je mettais les miens, en dérivation sur la ligne. A partir de ce moment, les sons perçus devinrent très satisfaisants comme intensité et comme netteté. D'ailleurs, ce résultat a été comparé à la Bourse aux auditions que fournissent les lignes aériennes de Rouen, Lille et Reims dans les meilleurs conditions, et il a été estimé au moins aussi bon.

On a voulu voir aussi quelle était l'influence des bobines à fort coefficient d'auto-induction, dont il a été

question ci-dessus : les récepteurs étant eux-mêmes en dérivation, on mettait une de ces bobines en dérivation sur la ligne ; dans ce cas, les sons devenaient, sans doute possible, faibles et confus.

Comme fait à signaler, il a été remarqué que l'audition devenait la plus satisfaisante lorsque la dérivation des récepteurs représentait une résistance à peu près égale à celle du fil secondaire de la bobine d'induction. C'était le cas de la bobine ordinaire d'un transmetteur Bréguet (150^{ω}) et de deux récepteurs d'Arsonval : ces derniers étaient montés de telle sorte que chacun d'eux fût en dérivation sur la ligne, et leur ensemble représentait une résistance de 100 ohms environ (voir *fig.* 3).

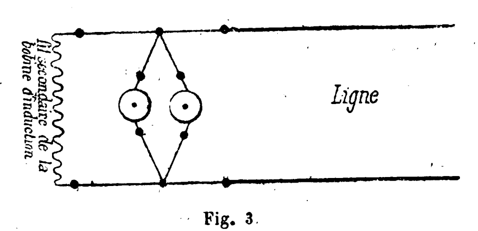


Fig. 3.

Enfin, les résultats sont les mêmes quand on réalise par l'intermédiaire de condensateurs-séparateurs la

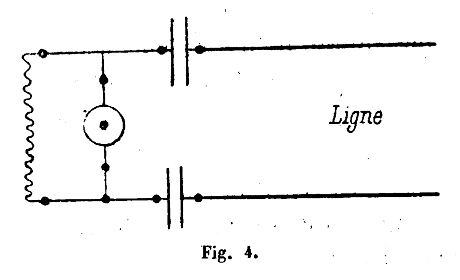


Fig. 4.

liaison du poste téléphonique avec la ligne (voir *fig.* 4). Ce qui revient à dire que le procédé serait immédiate-

ment applicable aux cas où les fils sont en même temps utilisés pour la télégraphie.

J'ajouterai que ce dispositif a été essayé sur les lignes aériennes de Paris à Reims, Lille, Lyon et Rouen, et que sur chacune d'elles, au lieu d'affaiblir l'audition, comme on aurait pu le craindre, il a notablement augmenté l'intensité et la netteté des sons perçus.

Dans ces conditions, il était très intéressant de se rendre compte de l'efficacité de ce procédé sur une longueur de ligne souterraine présentant une plus grande capacité et une plus grande résistance.

Les essais ont donc été répétés sur la section Paris-Rouen, dont la longueur mesurée sur la ligne souterraine est d'environ 160 kilomètres.

Pour chacun des deux conducteurs on a dans ce cas :

$$R = 1.340^{\omega}$$
$$C = 31^{\varphi}$$
$$CR = 41.540$$

Le résultat n'a pas été entièrement concluant : on ne distinguait qu'avec de grandes difficultés les appels et les phrases courantes qui étaient échangés de l'un à l'autre poste. Il est vrai, et cette remarque n'est pas sans importance, que l'on ne percevait plus rien du tout avec la disposition ordinaire des récepteurs en *série*.

Comme on ne disposait pas de *point de coupure* entre Beauvais et Rouen, il n'a pas été possible de répéter les mêmes expériences sur une section intermédiaire entre celles de Paris à Beauvais et de Paris à

Rouen, et dont le produit CR aurait été compris entre 10.000 et 40.000 ohms-microfarads. Ce serait le cas du câble de Dieppe à Beachy-Head pour lequel on a, je crois, un produit CR égal à environ 15.000.

Néanmoins, on a pu dégager de certaines particularités intéressantes des expériences faites quelques indications utiles pour de nouvelles tentatives qui permettront, on l'espère, d'augmenter encore la portée des appareils microtéléphoniques. De nouveaux essais sont préparés dans ce but.

Quoi qu'il en soit, en face des résultats acquis, on peut formuler les conclusions suivantes :

1° Sur toutes les lignes où l'audition est déjà suffisante, on a pu l'améliorer notablement en mettant les téléphones récepteurs en *dérivation* sur la ligne au lieu de les mettre en *série*.

2° On est arrivé par cette disposition simple à correspondre sur des lignes où la communication est impossible avec la disposition ordinaire ; et qu'ainsi on augmente en quelque sorte la portée des appareils téléphoniques employés.

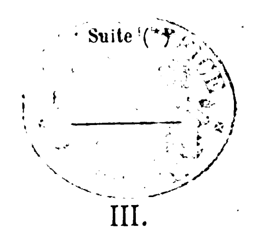
3° Cette disposition une fois adoptée, l'adjonction de dérivations à forte auto-induction devient nettement nuisible à l'audition.

Paris, le 6 novembre 1889.

M. CAILHO.

STATIONS TÉLÉPHONIQUES AUTOMATIQUES

Suite (*)



III.

Le nombre des abonnés à relier au réseau et demeurant dans un même immeuble peut souvent dépasser deux, spécialement dans les grandes villes, telles que Paris, etc. Il y a donc intérêt à chercher à étendre les solutions précédentes au cas de quatre abonnés et plus.

Une station automatique est, ainsi qu'on le verra plus loin, un moyen très satisfaisant de résoudre le problème.

Deux autres solutions sont également entrées dans la pratique, l'une due à M. Ader, l'autre connue sous le nom de système à pendule. Reposant principalement sur des combinaisons de communications, comme les systèmes décrits précédemment, nous les indiquerons immédiatement avant de passer à l'étude des stations automatiques proprement dites.

Dans le système Ader, uniquement applicable aux réseaux à double fil, quatre abonnés sont groupés deux par deux (*fig.* 9). Une terre est intercalée à l'état de repos entre ces deux groupes, en T. Pour appeler l'un des abonnés depuis le bureau central, on y intercale aussi une seconde terre entre les deux fils et l'on en-

(*) Voir le numéro de juillet-août.

voie un courant positif ou négatif sur l'une des deux lignes choisies. On a ainsi quatre moyens différents pour actionner les quatre relais de sonnerie s_1 s_2 s_3 s_4.

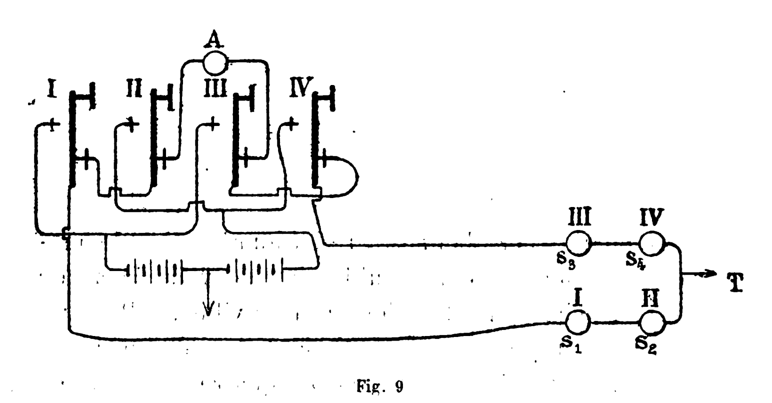
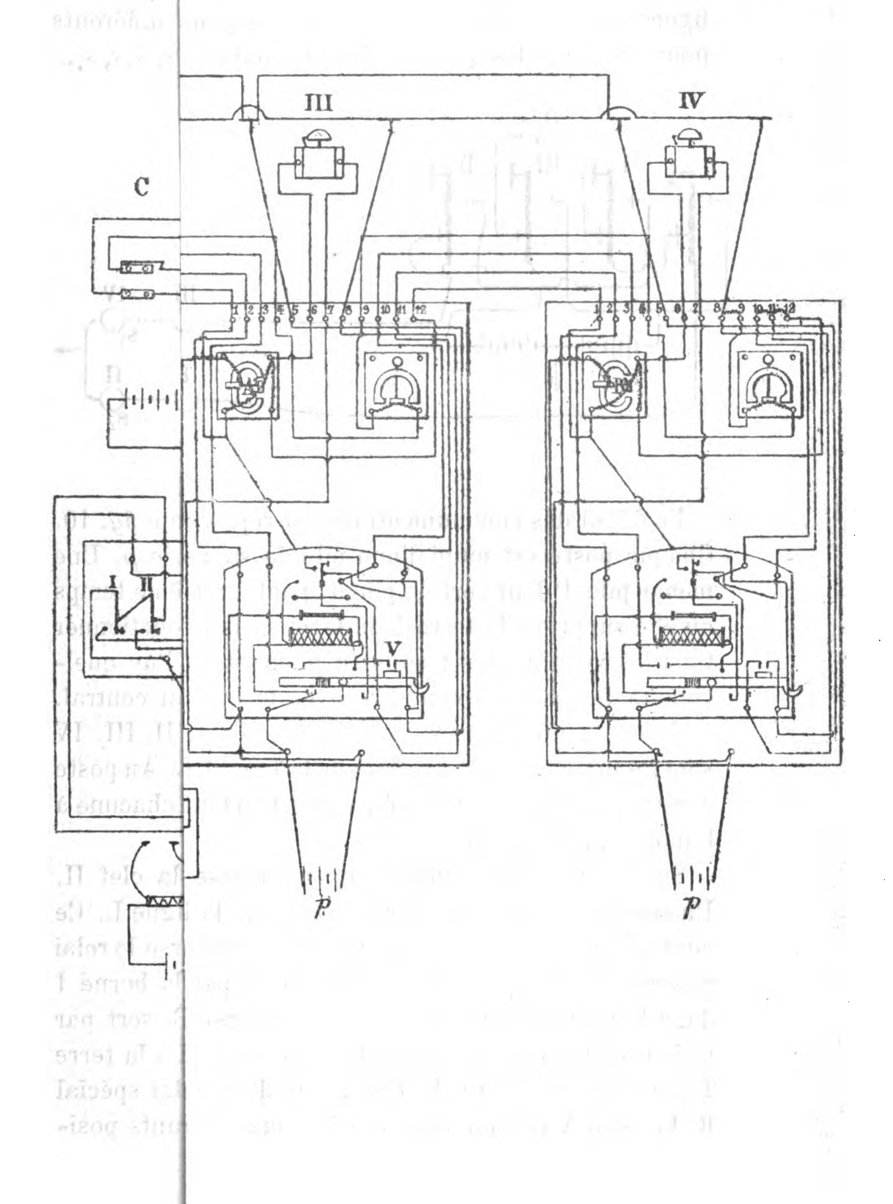


Fig. 9

Le détail des communications est représenté *fig.* 10. Chaque poste est muni d'une pile de sonnerie *p*. Une même pile P leur sert de pile d'appel, en même temps qu'elle supprime la terre T du lacet et fait fonctionner tous les voyants des postes au moment où l'un quelconque des abonnés converse avec le bureau central.

C représente celui-ci, dans la *fig.* 10; I, II, III, IV sont les quatre postes greffés sur la ligne LL. Au poste central existent quatre clefs, correspondant chacune à l'un des quatre postes.

Supposons, par exemple, qu'on abaisse la clef II. Un courant positif est alors envoyé sur la ligne L. Ce courant arrive à la borne 1 du poste I, traverse le relai polarisé A, sort par la borne 12, rentre par la borne 1 dans le poste II, traverse le relai polarisé B, sort par la borne 12 du même poste et, de là, se rend à la terre T par l'intermédiaire de l'armature d'un relai spécial R. Le relai A n'étant pas sensible aux courants posi-


III
IV
C
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
I II
V
P
P

tifs, le relai B fonctionne seul. Le circuit de la pile *p* se ferme alors par *m*, la borne 7, la sonnerie *s*, les bornes 6, *q*, l'armature du relai attirée, la borne *p* et *n*. Le poste II est appelé.

Supposons qu'on ait voulu appeler III ou IV, la marche du courant diffère légèrement.

Un courant négatif, par exemple, est alors envoyé sur L_1. Il entre par la borne 2 du poste I, se rend par *x* au commutateur automatique, ressort par *t* et la borne 11, traverse de même les commutateurs des trois postes II, III, IV. Arrivé à la borne 11 du poste IV, il passe à la borne 12 du même poste, traverse alors le relai polarisé B', sort par 1, rentre par 12 dans le poste III, et, après avoir encore traversé le relai A', se rend enfin à la terre T par l'armature du relai R. Le relai A' étant seul sensible aux courants négatifs fonctionne et ferme, comme précédemment, le circuit local de sonnerie.

Supposons que l'abonné II appellé par le poste central veuille correspondre. Il décroche son téléphone et le commutateur automatique se relève : toutes les communications sont brusquement changées.

Remarquons d'abord que le circuit de pile P se trouve aussitôt fermé. Le courant partant du pôle positif de cette pile suit *l*, pénètre par la borne 5 dans le poste II, arrive au commutateur qui a fermé le circuit en *v*, ressort par 8, arrive par l_1 à la borne 8 du poste IV, et, après avoir traversé successivement les relais des voyants des postes III et IV (bornes 9 et 4), le relai R, les relais des voyants des postes II et I, sort par la borne 1 du poste I et se rend par *l'* au pôle négatif.

Tous les voyants ont donc fonctionné, faisant appa-

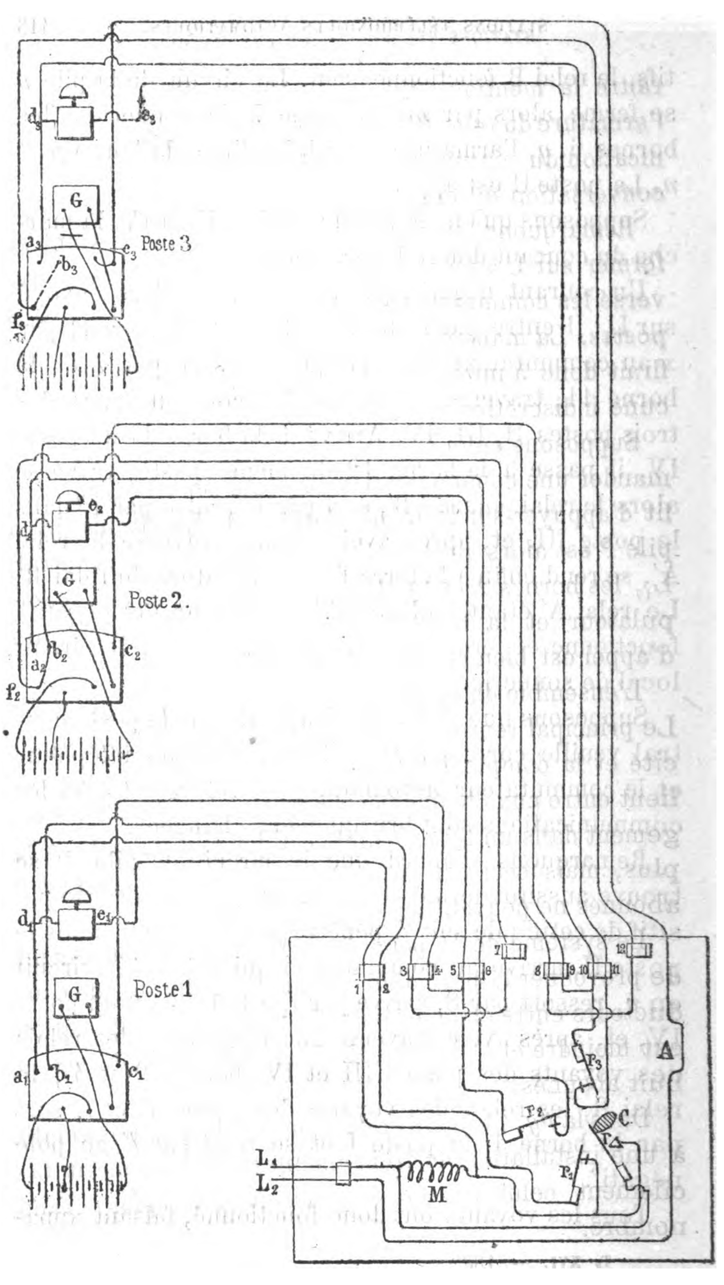


Fig. 11.

raître la mention « ligne occupée »; en même temps l'armature du relai R, étant attirée, a coupé la communication du circuit avec la terre en T, et tant que la conversation durera, ce double effet subsistera.

Remarquons, en outre, que la ligne L_1 ne vient se fermer sur L à travers le poste II qu'après avoir traversé les commutateurs automatiques des trois autres postes. La manœuvre d'un quelconque de ceux-ci suffirait donc à interrompre aussitôt la conversation. Aucune indiscrétion n'est possible.

Supposons enfin que le même abonné II veuille demander une communication au poste central, il lui suffit d'appuyer sur le manipulateur M. Le circuit de la pile P est alors ainsi constitué : l', L, le poste central, L_1, les bornes 2 et 11 du poste 1, la borne 2 le manipulateur et la borne 5 du poste II et l. Un courant d'appel est bien envoyé à l'annonciateur.

L'ensemble du système est extrêmement ingénieux. Le principal reproche à lui faire repose sur la multiplicité et la complexité des communications. Six fils relient entre eux chaque poste : une recherche de dérangement dans un tel ensemble est des plus délicates. De plus, mais ceci est de faible importance, les quatre abonnés ne peuvent causer entre eux.

Le système de la pendule a le même inconvénient de provoquer la pose d'un nombre considérable de conducteurs entre chaque poste. Toutefois, la complication est moindre et il permet de desservir à volonté six ou huit abonnés.

Dans la *fig.* 11, nous en donnons un diagramme relatif à une installation de trois abonnés. On trouverait facilement celui qui correspondrait à un plus grand nombre.

Dans l'immeuble où demeurent les abonnés et en un point quelconque est installée une véritable petite station automatique A.

Cette station se compose d'un mouvement d'horlogerie (non représenté sur le dessin) qui fait décrire à une came c une circonférence complète, chaque fois que le mouvement de l'armature d'un électro-aimant dont l'enroulement est représenté en M, lui permet de fonctionner. La came en marche c rencontre successivement des ressorts r_1, r_2, r_3 en aussi grand nombre qu'il y a de postes desservis. Lorsqu'elle est au repos, elle maintient éloigné de son contact un dernier ressort r.

Dans chacun des postes sauf un une communication spéciale marquée en pointillé se trouve également ajoutée.

Au poste central se trouve un mouvement d'horlogerie faisant décrire un tour à une aiguille, dans le même temps que la came et également commandé par un électro-aimant. Supposons que la station veuille appeler, par exemple, l'abonné 2. L'employé envoie d'abord un premier courant sur la ligne : ce courant arrivant par L_1 traverse l'électro-aimant M, passe par r_1, a_1, c_1, revient à la borne 4, passe par r_2, 6, a_2, c_2, la borne 9, r_3, a_3, c_3, L_2 et l'électro-aimant de la station de départ.

Les deux mouvements d'horlogerie partent simultanément. La came c abandonnant le ressort r laisse immédiatement l'électro-aimant M en court circuit, puis soulève successivement les ressorts r_1, r_2, r_3 qui, en temps normal, mettent à chacun des postes 1, 2 ou 3, la sonnerie en court circuit.

Lorsque l'aiguille du poste central s'arrête sur 2, le

ressort r_2 est soulevé et l'employé envoie à ce moment un courant d'appel. Ce courant arrive à la borne 5 comme précédemment, mais, le chemin étant coupé en r_2, va de 5 à e_2, traverse la sonnerie, et continue en a_2 : à partir de là, le chemin suivi est le même que celui indiqué plus haut.

La station centrale a donc sonné l'abonné 2.

Celui-ci décroche son téléphone. Le circuit se ferme alors de la manière suivante : b_2, la borne 8, la borne 12, f_3, b_3, c_3 la ligne L_2, la station centrale, L_1 la borne 2, a_1, c_1, les bornes 5 et 6 et enfin a_2. On voit que les deux postes 1 et 3 sont embrochés de telle façon que si l'un ou l'autre voulait suspendre la conversation, il couperait la communication soit en f_3, b_3, soit en a_1, c_1.

Supposons de plus que pendant que 2 est en train de causer, un des abonnés tel que 3 veuille appeler la station centrale. On verra facilement, en suivant les communications, que son circuit d'appel est coupé en a_2, c_2 par le fait même de la manœuvre du commutateur automatique du poste 2. Il s'apercevra que son courant ne passe pas, à l'immobilité du galvanomètre G placé sur le circuit et apprendra ainsi que la ligne est occupée.

Le service de renseignements est donc beaucoup moins complet que dans le système Ader. En revanche, cinq fils seulement relient les divers postes à la pendule.

En dépit de sa simplicité, d'ailleurs, ce système tend de plus en plus à être abandonné. Il n'est applicable, en effet, que dans les grands réseaux, où une très grande rapidité est nécessaire dans les opérations de mise en communication. Or, comme on l'a vu, quel

que soit l'abonné appelé, à chaque appel on doit laisser effectuer à la pendule un tour complet. Ce mouvement devant être lent, atteint facilement une minute pour un poste de six abonnés. C'est donc chaque fois une perte de temps inadmissible.

En pratique, lorsqu'on a à desservir un groupe d'abonnés supérieur à quatre, il vaut mieux utiliser une station automatique ou tout autre dispositif analogue. Ce sont ces systèmes que nous allons examiner maintenant.

IV

Lorsque les abonnés sont dispersés à une certaine distance d'un centre commun, et qu'il s'agit de relier leur ensemble à une station centrale éloignée à l'aide d'un fil unique, on peut adopter deux dispositifs.

La ligne unique, arrivée au centre graphique des divers abonnés, peut se diviser en une série de branches se rendant chacune à l'un des postes. On a alors la disposition en *bouquet* ou en *étoile*. Elle peut aussi se rendre successivement chez chacun des abonnés. C'est le dispositif en *chapelet*.

Il y a lieu de se demander tout d'abord lequel des deux systèmes est préférable. Au point de vue de la longueur du fil, il est indifférent d'adopter l'un ou l'autre, rien n'indiquant *a priori* en faveur duquel serait l'avantage. Si, de plus, on suppose les demeures des abonnés suffisamment rapprochées, les économies à réaliser de ce chef sont à peu près négligeables; par suite des considérations électriques ou mécaniques permettront seules de guider dans un pareil choix.

Dans l'exploitation en bouquet, l'ensemble des abonnés constitue à proprement parler un réseau secondaire, le point de bifurcation des lignes jouant le rôle d'une véritable station centrale intermédiaire. Il est donc nécessaire de placer en ce point un organe spécial manœuvré à distance qui en remplira l'office et sera ce que nous avons appelé la *station automatique* proprement dite. Cet appareil desservant je suppose huit abonnés doit alors satisfaire pour chacun d'eux, aux conditions énumérées au début de cette étude : 1° permettre l'appel des abonnés par la station centrale ou de la station centrale par les abonnés ; 2° garantir une conversation de toute indiscrétion ; 3° permettre à deux quelconques de ces huit abonnés de causer entre eux. Il est clair que réaliser ces trois conditions pour huit abonnés simultanément est infiniment plus difficile que pour un seul.

Aussi la station automatique renfermera-t-elle *a priori* un nombre considérable d'organes susceptibles de fournir des mouvements complexes. Comme elle ne peut dépasser, en outre, certaines dimensions, on sera réduit à donner à ces organes des formes délicates en même temps qu'ils devront être parfaitement soignés dans leur construction ; il en résulte pour l'appareil deux inconvénients également graves : l'élévation du prix et la complication.

Or, un dérangement dans un appareil de ce genre entraîne beaucoup plus de difficultés que dans un appareil quelconque de réseau urbain ; il a, en effet, pour résultat non seulement d'isoler du réseau tout un groupe d'abonnés, mais encore d'obliger l'agent spécial à un déplacement considérable.

Quant à l'élévation du prix, pour des distances

moyennes, il peut arriver que le prix de revient de l'appareil ne soit pas très sensiblement inférieur au prix de revient d'une ligne ordinaire ; l'avantage de la station automatique n'est plus alors que théorique.

Indiquons enfin un dernier défaut grave inhérent au système. La station automatique introduit presque toujours une résistance morte considérable sur la ligne. On est donc obligé d'accroître les piles d'une manière sensible. Si, de plus, elle nécessite l'usage d'une pile locale, on voit qu'il y a encore de ce chef une perte nette, en même temps que des difficultés relatives d'installation.

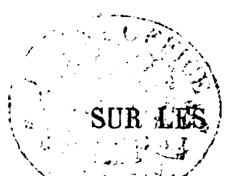
Dans l'exploitation en chapelet, chaque poste est, au contraire, chargé individuellement d'effectuer pour son propre compte les opérations voulues : c'est en quelque sorte le principe de la division du travail appliqué au réseau. Chaque poste en lui-même peut donc être infiniment moins complexe que la station automatique, et rester composé d'organes plus grossiers quoique très satisfaisant pour opérer un travail simple. Si des piles locales doivent être utilisées, on conçoit qu'on puisse se servir des piles existant nécessairement dans le poste, telles que piles de sonnerie ou de microphone. Quant aux résistances mortes, on voit tout de suite qu'il est possible de ne laisser momentanément dans l'ensemble du circuit que celles relatives au poste qui travaille, et pas d'autres.

A priori, il semble donc qu'il n'y ait pas à hésiter le système d'exploitation en chapelet paraît le plus aisé, au moins jusqu'à nouvel ordre, à appliquer.

Il n'en a pourtant pas toujours paru ainsi, et les premiers efforts des inventeurs se sont portés surtout sur la réalisation de la station automatique. Ils n'ont pas été

jusqu'ici couronnés par le succès, et sauf le système suédois dû en grande partie à MM. Ericsonn et Cedergren, aucun autre n'est réellement entré dans la pratique.

(*A suivre.*) ESTAUNIÉ.



SUR LES LIGNES SOUTERRAINES EN TUYAUX DE CIMENT

DE LA MAURIENNE

Les lignes souterraines de la Maurienne (Savoie) datent de 1885. De longueurs variables, 160 à 2.500 mètres, elles doivent leur création à la nécessité de soustraire, dans certains passages très exposés, les conducteurs électriques aux perturbations causées par les torrents, les éboulements ou les avalanches. Puis, sans doute dans une pensée de généralisation, on a cru devoir attribuer des conduites en ciment à toutes les traversées de tunnels, dont quelques-unes, en terrains cultivés, mesurent à peine 200 mètres de long.

Depuis leur établissement, les sections considérées furent mises à l'épreuve de nombreuses décharges atmosphériques, et quelques-unes fort maltraitées. La situation s'est même aggravée dans le courant de l'été 1889, au point de nécessiter une revision immédiate des sections défectueuses, travail pour lequel j'ai été désigné.

Avant d'entrer dans le détail des opérations de revision, je crois utile de dire quelques mots des lignes elles-mêmes.

Les fils aériens aboutissent de part et d'autre à de petites guérites de raccordement munies de paraton-

nerres Bertsch, où s'opère la jonction avec les câbles, au nombre de deux à sept conducteurs, type B de la nomenclature, quelques sections comprenant en outre un câble C à cinq conducteurs à l'usage de la Compagnie P.-L.-M.

La section droite d'une conduite est représentée par la *fig.* 1. Le tuyau de $1^{m},10$ de long environ, est fabriqué sur place, lors de la construction, et relié au voisin par des joints coulés au moyen de coquilles en tôle embrassant les deux tuyaux. Les chambres, dont les emplacements dépendent des longueurs de câble dont on dispose, sont aussi en ciment, de forme circulaire, et munies de couvercles de même substance.

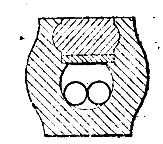


Fig. 1.

On voit que ces conduites peuvent épouser toute forme de tracé, si irrégulier soit-il, les câbles étant simplement déposés au fond, sans aucune tension et sans tirage préalable. Lorsque la pose est ainsi achevée, il ne reste plus qu'à recouvrir. Cette opération se fait à l'aide de plaquettes en ciment (*fig.* 2), qu'on place sur les rebords horizontaux des conduites, comme le montre la *fig.* 1. On coule enfin du ciment dans la partie supérieure pour achever la fermeture, après avoir pris la précaution de boucher avec soin les interstices des plaquettes afin d'empêcher la précédente substance de couler à l'intérieur. Cette précaution est extrêmement utile; j'ai rencontré des sections où les câbles étaient noyés dans des blocs de ciment formant masses compactes avec les tuyaux; on

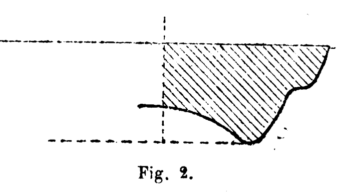


Fig. 2.

comprend dès lors l'impossibilité absolue de tout tirage et la nécessité coûteuse d'ouvrir de distance en distance, et au hasard, pour dégager les câbles de leur étreinte.

La ligne est maintenant achevée. Plus tard, pour la visiter, il suffira d'enlever le ciment supérieur et les plaquettes. Mais cette opération d'apparence très simple, est longue et pénible : les outils s'émoussent? les chocs ébranlent et désagrègent parfois la conduite; la poussière de ciment pénètre à l'intérieur et exige beaucoup de temps et de précautions pour en être extraite (*).

En outre de ces inconvénients, la pratique en a montré un plus grave qui risque fort de compromettre à jamais l'avenir des lignes considérées : c'est que la gutta s'altère généralement dans un semblable milieu, et n'offre plus, dans la suite, une épaisseur de diélectrique suffisante pour empêcher les décharges disruptives des courants à haute tension. C'est ce que nous examinerons plus loin.

Voici maintenant les méthodes appliquées à la localisation des avaries.

Après une simple constatation au galvanomètre Thomson de l'état d'isolement des différents conducteurs d'une section, les brins mauvais étaient à tour de rôle bouclés avec un même brin bon, à la seconde guérite, avec laquelle je correspondai par téléphone depuis ma voiture d'essais. J'effectuais successivement les essais de boucle, puis la mesure de résistance des brins bouclés.

La boucle de Murray n'ayant pu donner une ap-

(*) J'ai employé avec succès au nettoyage de la conduite une cuiller en fer dont les bords avaient été aplatis vers l'intérieur.

proximation suffisante, en raison de la trop grande résistance de mon Thomson, j'ai employé avec succès la boucle de Varley (*fig.* 3).

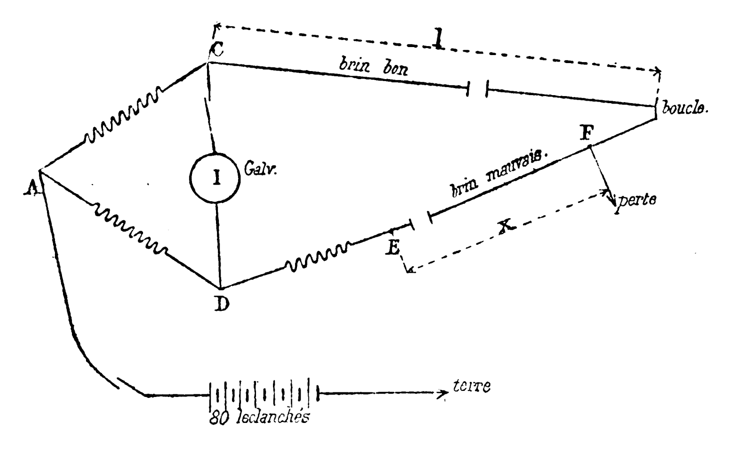


Fig. 3.

$2\,l$ désignant la résistance des brins bouclés, x la résistance du brin mauvais jusqu'à l'endroit de la perte, on a, pour l'équilibre :

$$AC \times (DE + x) = AD \times (2l - x);$$

d'où

$$x = \frac{2l \times AD - AC \times DE}{AC + AD}.$$

J'ai fait, une fois pour toutes,

$$AD = 90^{\omega}$$
$$AC = 10$$

et alors

$$x = \frac{2l \times 90 - DE \times 10}{100} = \frac{9 \times 2l - DE}{10},$$

la résistance $2\,l$ ayant pu être obtenue d'une façon très approchée à 1/1000 près, DE généralement à une demi-unité près, on voit que l'erreur probable était de

1/20, c'est-à-dire, un ohm valant environ 160 mètres en longueur, de 8 à 9 mètres.

Quelquefois, l'approximation obtenue a été supérieure, dans le cas d'une perte unique et bien accusée; comme aussi, lorsqu'il s'agissait d'une perte résistante, l'erreur a pu atteindre une quinzaine de mètres.

Ces expériences terminées pour une section, je marquais sur le terrain la position attribuée par la boucle aux différents défauts, en tenant compte bien entendu des fils de secours et du mou des guérites et des chambres (*). Les terrassiers découvraient ensuite la conduite sur une longueur de 5 mètres environ de part et d'autre du point précédent; les câbles étaient dégagés et reconnus, soit par tirage direct, soit à l'aide du septième brin (**). Puis celui sur lequel j'avais à opérer était isolé sur caoutchouc ou gutta, et son enveloppe sectionnée aux deux extrémités, la gutta des différents brins mise à nu, nettoyée et séchée. Dans ces conditions, il est bien clair que si la perte se trouve dans la portion de câble à enveloppe isolée, elle n'est plus accusée au galvanomètre : il est dès lors facile de la découvrir, soit en sectionnant encore, soit en enlevant purement et simplement le ruban et le jute tannés de l'enveloppe, pour visiter les brins séparément. Si, au contraire, le défaut est toujours accusé, il faut se résigner à continuer les fouilles; et, le plus souvent, à reconnaître le brin mauvais et à le couper; il est probable en effet que ce brin est affecté de plusieurs défauts, la boucle n'ayant pu dès lors donner qu'une position intermédiaire.

(*) Précaution indispensable, eu égard anx faibles longueurs des sections.

(**) Généralement le câble 1 occupatt la droite et le câble 2 la gauche de la conduite dans le sens de la llgne. Mais j'ai rencontré des sections où cet ordre avait été interverti.

En appliquant la méthode précédente, j'ai pu réparer nombre d'avaries sans *aucune coupure :* tel a été le cas des coups de foudre bien nets, trahis par une boursouflure extérieure de la grosseur d'un petit pois. Malheureusement, j'ai dû aussi sectionner quelquefois, lorsqu'il s'agissait de plusieurs défauts affectant un même brin, de bouts défectueux, ou bien de pertes peu accusées qu'aucune trace d'avarie sur le filin ne permettait de reconnaitre.

En résumé, mes opérations ont porté sur vingt défauts primitifs et une dizaine d'autres accidentels, produits par le tirage ou la manipulation des câbles, les vingt premiers se décomposant comme suit : quatorze coups de foudre; une blessure provenant de la fabrication même et que l'usage avait altérée; quatre autres avaries peu caractérisées où l'emploi de baguettes a été indispensable; une morsure de rat.

Sur toutes les sections où j'ai rencontré des coups de foudre, la gutta était extraordinairement sensible : gercée, d'aspect blanchâtre, se détachant sous le plus léger frottement, se cassant même à la moindre torsion. L'enveloppe, entièrement décomposée, n'offrait plus aucune résistance. Tourmentait-on un peu le câble pour le sortir de la conduite ou passer en revue les différents brins, la gutta se fendait et un nouveau défaut apparaissait dans le voisinage de l'avarie primitive; et cependant, une légère torsion était bien indispensable, étant donné qu'il s'agissait de câbles à sept conducteurs, et qu'on ignorait en pleine ligne le brin avarié. Enfin, en maints endroits, j'ai trouvé la gutta poreuse et imprégnée d'un liquide jaunâtre et visqueux, provenant de la décomposition de l'en-

veloppe, et qu'une simple pression du doigt faisait sortir des pores de l'isolant.

Les échantillons que j'ai rapportés de la Maurienne ne laissent aucun doute à cet égard : partout où le coup de foudre s'est produit, la gutta était altérée dans les conditions que je viens d'indiquer. Au contraire, les constatations faites sur les sections indemnes (*) ont montré qu'elle y avait conservé son aspect et son caractère primitifs, et, partant, aussi son épaisseur isolante : d'un côté, altération sous l'influence du milieu, probablement de l'eau qui séjourne dans les conduites, et réduction de l'isolant à l'état de lame mince n'offrant plus une résistance capable d'empêcher les décharges disruptives des courants de haute tension; de l'autre, conservation de l'homogénéité et de la compacité premières, et épaisseur suffisante pour s'opposer à ces décharges.

Donc, pour conserver ces lignes en ciment, il faudrait pouvoir y mettre la gutta à l'abri des courants de haute tension. Or quelle est l'origine de ces courants? Ils peuvent provenir de décharges directes sur fils aériens, décharges que les paratonnerres Bertsch des guérites sont impuissants à écouler à la terre. Mais rien ne paraît s'opposer à ce qu'ils soient dus aussi à des effets d'induction causés par des décharges atmosphériques dans le voisinage des conduites. Ces derniers effets étant inhérents à la nature même de la ligne, on ne pourrait malheureusement y soustraire les câbles qu'en les dotant d'une armature métallique, c'est-à-dire en modifiant cette nature.

(*) Indemnes en raison de leur tracé : établies pour la plupart sous les cunettes des tunnels, elles jouissent d'une pente uniforme, et l'eau s'y renouvelle sans cesse; à l'encontre des sections atteintes, toutes sur route, avec *cotes très irrégulières*.

Notre attention doit donc, à l'heure actuelle, se porter du côté des premiers phénomènes et tendre à en prévenir le retour. Or il est certain, et les expériences que j'ai faites ne laissent aucun doute à cet égard, que la protection offerte par les paratonnerres Bertsch montés sur plaques de zinc est le plus souvent illusoire (*). Il paraît donc de première nécessité de supprimer ce type et de le remplacer par des préservateurs plus efficaces, comme le paratonnerre à lame d'air, de papier ou de gutta. Peut-être même serait-il prudent de doter chaque brin de deux paratonnerres embrochés d'un type différent. Il est évidemment à prévoir que ces appareils seront fréquemment atteints; mais les dérangements causés par le remplacement des lames percées peuvent-ils entrer en ligne de compte, quand on envisage les ennuis et les frais considérables qu'occasionne la réparation ultérieure des brins foudroyés?

Telle est donc la mesure qui nous parait s'imposer dès maintenant. Si elle ne constitue pas un remède absolu contre les coups de foudre des lignes souterraines en conduites de ciment, tout au moins permettra-t-elle de prolonger quelque temps encore leur existence; et, dans tous les cas, de fixer sans hésitation l'opinion sur la nature et l'origine des décharges disruptives dont elles sont le siège.

Xavier SCHAEFFER.

(*) Ce zinc se recouvre à la longue d'une couehe d'oxyde blanc qui constitue un parfait isolant.



EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

APPLICATIONS DE LA TRANSMISSION AUTOMATIQUE

A L'APPAREIL HUGHES

Nous avons montré, dans un précédent article, comment M. Munier avait pu transformer judicieusement l'appareil Hughes de façon à en faire un appareil multiple. D'autres inventeurs se sont donné carrière dans une autre voie et ont cherché à transformer ce même appareil Hughes en un appareil imprimeur à composition préalable. Deux employés de l'Administration, MM. Parment et Nault, ont exposé, au pavillon de l'Administration des Postes et Télégraphes, les résultats des recherches qu'ils ont entreprises dans cet ordre d'idées. Leurs appareils étaient inachevés. C'est dire qu'aucune expérience n'a permis de se rendre compte de la valeur pratique de leurs systèmes. Mais comme ces appareils reposent sur des idées très ingénieuses et qu'ils présentent des organes intéressants, nous avons cru que les lecteurs des *Annales* seraient heureux d'en avoir une description succincte et de pouvoir se rendre compte de leur fonctionnement.

I. APPAREIL DE M. PARMENT.

M. Parment s'est proposé d'augmenter le rendement de l'appareil Hughes en substituant à la roue des types ordinaires deux roues parallèles, l'une pour les lettres, l'autre pour les chiffres et signes usuels, contenant chacune 48 caractères.

Les caractères, sur chacune de ces roues, ont été groupés dans un ordre rationnel résultant d'une étude de la composition des mots de la langue française. Chaque lettre est reproduite un nombre de fois proportionnel à la fréquence avec laquelle elle se présente dans le langage. Pour les chiffres et les signes usuels, une règle analogue est adoptée et les plus fréquemment employés sont également ceux qui figurent le plus grand nombre de fois sur la roue des types qui leur est propre.

La lettre E figure cinq fois sur la roue des types.

Les autres voyelles et les consonnes, n, r, s, t, trois fois.

Les autres lettres, suivant leur importance, deux ou trois fois.

En regard de chaque lettre se trouve un chiffre ou un signe sur la seconde roue, et pour passer des lettres aux chiffres, ou réciproquement des chiffres aux lettres, l'ensemble des deux roues des types reçoit un déplacement longitudinal dans le sens de leur axe commun.

Une autre particularité des roues des types employés, c'est qu'elles ne portent pas d'espace vide pour la formation des blancs. Les blancs sont produits par l'action, sur un électro-aimant spécial, d'un courant de

sens contraire à celui qui détermine l'impression des signaux.

Toutes ces dispositions ont pour effet d'augmenter considérablement le rendement de l'appareil. Les lettres peuvent être transmises de sept en sept. Grâce à la multiplicité des lettres les plus fréquemment employées, les combinaisons qui peuvent être faites à chaque tour de la roue sont beaucoup plus nombreuses. On peut estimer en moyenne à *quatre et demi* le nombre des lettres susceptibles d'être imprimées par tour. Mais pour jouir de toutes les combinaisons possibles et atteindre ce rendement élevé, on ne peut avoir recours à la manipulation d'un employé, et la transmission automatique s'impose.

La transmission des signaux nécessitera les opérations suivantes au départ :

1° Perforation de la bande. Cette opération consistera, pour chaque caractère, en un seul découpage du papier servant à déterminer le moment précis où doit avoir lieu l'unique émission destinée à provoquer l'impression.

2° La transmission automatique d'un courant local qui agit sur les électro-aimants de l'appareil Hughes transformé du poste de départ.

3° La transmission du courant de ligne produite automatiquement par le déclenchement de l'armature de l'un des électro-aimants de l'appareil Hughes transformé.

A l'arrivée, les courants sont reçus par un relais spécial à double armature du genre Siemens. Ces deux armatures, sous l'influence des courants de ligne, ferment l'un ou l'autre des circuits des électro-aimants de l'appareil récepteur en provoquant l'émission de

courants locaux soit positifs, soit négatifs. Cette disposition a pour but de faire traverser les électro-aimants par des courants toujours de même sens et d'éviter les effets de condensation magnétique qui ne manqueraient pas de se produire sous l'influence de courants de sens variables.

Enfin les courants locaux, provoqués par les déplacements des armatures des relais, n'agissent pas seulement sur le récepteur Hughes transformé.

Ils agissent aussi sur un autre organe appelé perforateur intermédiaire qui sert à recevoir, en même temps que la dépêche imprimée, une bande perforée semblable à la bande initiale et toute prête pour la réexpédition. Cette disposition procure une économie de personnel et fait gagner, dans les transmissions successives, le temps qui devrait être employé à traduire la dépêche et à perforer une nouvelle bande.

Chaque poste comprend donc, en résumé, les appareils suivants :

Un perforateur initial;
Un transmetteur automatique;
Un récepteur Hughes modifié;
Un relais du genre Siemens;
Un perforateur intermédiaire.

Le récepteur seul figurait à l'Exposition. Les autres appareils n'étaient représentés que par des dessins.

C'est donc le récepteur surtout que nous allons décrire, en donnant sur les autres organes des indications sommaires, suffisantes toutefois pour en faire comprendre le fonctionnement.

Récepteur.

Nous avons déjà eu occasion de dire que la roue des types était doublée, une roue portant les lettres, l'autre portant les chiffres et signes usuels.

L'axe imprimeur de l'appareil Hughes est remplacé par trois axes différents qui sont animés d'une même vitesse lorsqu'ils sont embrayés avec les axes postérieurs situés dans leur prolongement et solidaires du mouvement d'horlogerie de l'appareil. Ces trois arbres n'agissent jamais simultanément. Il n'y en a jamais qu'un seul d'enclenché et l'enclenchement lui fait décrire seulement une demi-révolution. La vitesse à laquelle ces arbres tournent est égale à quatre fois celle de la roue des types. En leur faisant accomplir leurs fonctions dans une demi-révolution, l'inventeur a pu leur donner une vitesse deux fois moindre que s'il leur avait demandé une révolution complète, tout en maintenant le même intervalle entre les lettres successives à transmettre. Le temps nécessaire au fonctionnement des organes mécaniques est ainsi assuré.

Les trois arbres dont nous venons de parler ont chacun une fonction différente :

L'arbre nº 1 sert à l'impression;

L'arbre nº 2 sert à la formation des blancs;

L'arbre nº 3 sert à déplacer longitudinalement la double roue des types pour permettre d'imprimer soit les lettres, soit les chiffres.

Arbre nº 1. *Impression et correction.* — L'arbre nº 1 est coupé derrière la roue correctrice. Son prolongement en avant de cette même roue correctrice est relié à la partie postérieure par un axe supplémentaire

n° 4 que l'on voit sur la *fig.* 1, et un système d'engrenages qui double sa vitesse. Il fait donc une révolution entière pendant que l'arbre postérieur fait une

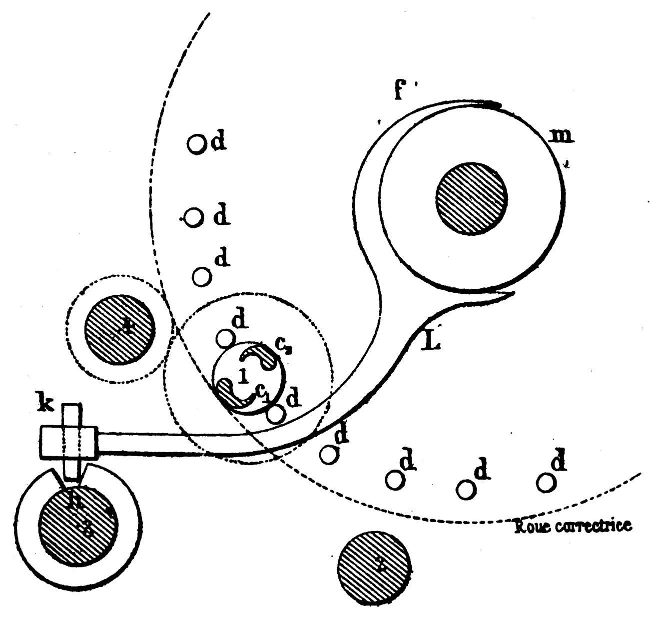


Fig. 1.

demi-révolution. Pendant cette révolution, il produit l'impression d'un caractère et la progression du papier, absolument comme dans l'appareil Hughes ordinaire. Les organes qui servent à déterminer ces deux fonctions sont conservés intacts.

La roue correctrice est, comme les deux roues des types, divisée en quarante-huit parties égales. Ces divisions portent des dents de deux en deux. Les dents *d*, qui sont ainsi au nombre de vingt-quatre, ne sont pas, comme dans l'appareil Hughes ordinaire, sur le pourtour de la roue correctrice. Elles sont disposées sur

la face postérieure près de la circonférence (*fig.* 1). La partie postérieure de l'axe n° 1 se termine en regard de la roue correctrice par les deux cames c_1 et c_2, diamétralement opposées et de formes symétriques.

Pendant la demi-révolution accomplie par l'arbre n° 1, on voit que ces deux cames agissent simultanément sur les deux dents qui se trouvent à ce moment de part et d'autre de l'arbre, corrigeant ainsi l'une l'avance, l'autre le retard.

Arbre n° 2. Formation des blancs. — L'arbre n° 2, ainsi que nous l'avons déjà dit, accomplit une demi-révolution lors du déclenchement de l'armature d'un électro-aimant spécial. Il a pour but de former les blancs pour lesquels aucun espace n'a été réservé sur les roues des types. Il doit par conséquent déterminer la progression du papier de la valeur d'une lettre sans le projeter contre l'une des roues des types. A cet effet, l'arbre n° 2 porte deux cames diamétralement opposées, c_1 et c_2 (*fig.* 2). A chaque demi-révolution,

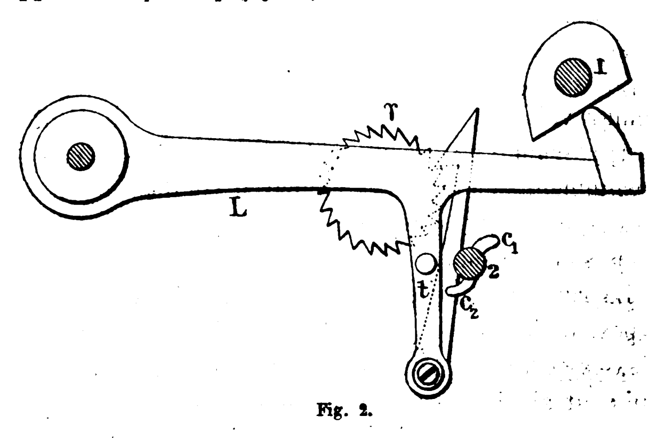


Fig. 2.

l'une de ces cames agit sur le tourillon *t* du levier de progression L qui fait tourner le rochet *r* d'un cran.

Arbre n° 3. Passage des lettres aux chiffres. — L'arbre n° 3 porte sur la moitié de son pourtour une rainure hélicoïdale *h* (*fig.* 1), dont le pas est double du déplacement longitudinal qui doit être donné aux roues des types pour passer de l'impression des lettres à celle des chiffres. Dans la rainure est engagé un curseur *k* situé à l'extrémité d'un levier L, dont l'autre extrémité *f* terminée en fourche embrasse un manchon *m* solidaire des roues des types.

Lorsque l'arbre n° 3 accomplit une demi-révolution, les roues des types se trouvent ainsi déplacées longitudinalement du demi-pas de la rainure hélicoïdale et l'impression des chiffres succède à celle des lettres. Dans la demi-révolution suivante, c'est un ressort qui agit pour ramener le curseur à son point de départ et l'on revient à l'impression des lettres.

Électro-aimants. — Nous venons d'indiquer le rôle et le fonctionnement de chacun des trois arbres dont l'ensemble a été substitué à l'arbre imprimeur unique de l'appareil Hughes. Examinons maintenant comment sont produites les demi-révolutions de ces arbres à la suite des déclenchements des armatures des électro-aimants.

Les électro-aimants qui sont les électro-aimants Hughes ordinaires, sont au nombre de deux. Le premier commande les mouvements de l'arbre n° 1 et de l'arbre n° 3 et agit soit sur l'un, soit sur l'autre, par suite de la disposition que nous allons décrire ; le second commande les mouvements de l'arbre n° 2 (arbre des blancs).

Appelons pour plus de simplicité électro-aimant positif celui qui a déterminé l'impression et le déplacement des roues des types, électro-aimant négatif celui qui détermine la formation des blancs.

Le levier d'échappement de l'électro-aimant négatif est semblable à celui d'un Hughes ordinaire et n'offre pas de particularité.

Le levier d'échappement de l'électro-aimant positif L se termine à un axe *q* formé de trois parties discontinues. La partie médiane est celle qui porte le levier L. Les deux parties, antérieure et postérieure, portent deux leviers K_1 et K_2 munis d'épaulement tout à fait semblables à ceux des leviers d'échappement de l'appareil Hughes (*fig.* 3). Ce sont ces leviers dont le déplacement produit le déclenchement soit de l'arbre n° 1, soit de l'arbre n° 3.

Chacune des trois parties de l'arbre *q* porte une saillie S. Les trois saillies sont dans le prolongement les unes des autres. Un manchon M avec une rainure intérieure dans laquelle les saillies s'adaptent exactement peut glisser sur l'axe et réunit la partie médiane soit à la partie antérieure, soit à la partie postérieure, réunissant ainsi le levier L sur lequel agit l'électro-aimant positif soit à K_1, soit à K_2. Ce résultat est obtenu à l'aide du tourillon *t* fixé sur le pourtour du manchon et placé entre les dents de la fourchette *f*. La fourchette est commandée par l'axe n° 2 (arbre des blancs) par l'intermédiaire de l'axe *p* auquel il est relié par un engrenage conique, de l'excentrique *e* et du levier *l* terminé à sa partie inférieure par une fourche *h* qui glisse sur une règle *r* (voir *fig.* 3).

L'engrenage conique qui relie l'axe n° 2 à l'axe *p* est tel que l'axe *p* tourne avec une vitesse deux fois moindre que l'axe n° 2. Supposons le levier L relié normalement au levier K_1. Supposons que l'on envoie un courant négatif destiné à la formation d'un blanc. L'axe n° 2 accomplit une demi-révolution, l'axe *p* ac-

Fig. 3.

complit un quart de révolution, le manchon est déplacé longitudinalement, mais pas assez pour que L et K_1

cessent d'être solidaires l'un de l'autre. Si le courant qui suit ce courant négatif est un courant positif, le manchon est ramené à sa position normale et l'impression des lettres continue à se faire par l'émission des courants positifs.

Voici comment s'opère le rappel du manchon M. Le pignon qui met en relation l'axe n° 2 et l'axe *p* (*fig.* 3) n'est pas solidaire de l'axe n° 2. Il est monté à frottement doux sur cet axe, et le manchon qui le porte est relié à l'axe n° 2 par l'intermédiaire d'un cliquet *c* et d'un rochet *r* (*fig.* 4). Ce manchon porte d'ailleurs

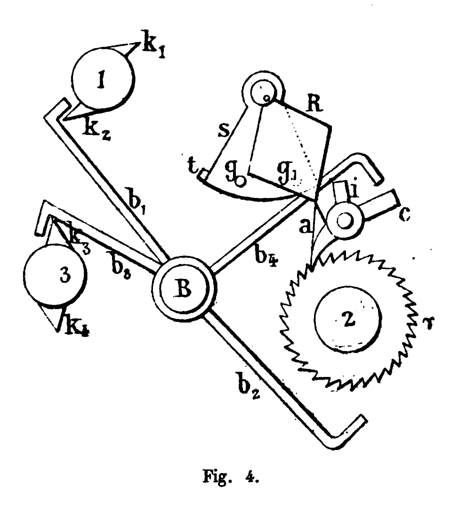


Fig. 4.

un ressort en spirale contenu dans un barillet. Lorsqu'un courant négatif a agi sur l'électro-aimant n° 2, l'axe n° 2 décrit une demi-révolution et le cliquet entraîné par le rochet vient, en tendant le ressort du barillet, occuper une position symétrique de celle qu'il occupe sur la *fig.* 4. Si un courant positif succède au courant négatif, l'axe n° 1 accomplit à son tour une

demi-révolution. Il est muni de deux cames k_1 et k_2 dont l'une agit sur la branche b_1 du levier B à quatre branches. La branche b_2, dans le mouvement qui en résulte, sépare le cliquet du rochet. Le cliquet est alors ramené en arrière par le ressort et, au moment où il revient à son point de départ, un appendice *a* qu'il porte à sa partie antérieure vient se heurter à une plaquette R, et le cliquet est à nouveau embrayé avec le rochet. Dans ce mouvement le pignon a accompli en arrière une demi-révolution, l'axe *p* (*fig.* 3) a accompli en arrière un quart de révolution, et le manchon M a repris sa position initiale.

Supposons maintenant que l'électro-aimant n° 2 soit traversé par deux courants négatifs successifs. L'axe n° 2 accomplit alors une révolution entière, et l'axe *p* accomplit une demi-révolution (*fig.* 3). Le manchon M reçoit un déplacement longitudinal double de celui qu'il recevait dans le cas examiné précédemment. La liaison entre L et K_1 est rompue et les deux leviers qui sont maintenant solidaires l'un de l'autre sont L et K_2. Un courant positif, émis à la suite de ces deux courants négatifs, aura pour effet d'agir sur l'axe n° 3 et de provoquer le déplacement longitudinal des roues des types. En même temps le manchon est ramené à sa position initiale, et les courants positifs suivants ont pour résultat d'imprimer des chiffres, si les caractères imprimés précédemment étaient des lettres ou *vice versa.*

Le rappel du manchon s'opère d'une façon analogue à celle que nous avons indiquée précédemment. Le cliquet, suivant le mouvement de l'axe n° 2, a fait une révolution complète en tendant le ressort du barillet. Dans ce mouvement le doigt *i* du cliquet a rencontré la

goupille g_1 d'un secteur S monté sur le même axe que la plaquette R et faisant corps avec elle (*fig.* 4). La plaquette s'est donc trouvée projetée sur la droite, la goupille g venant prendre la place de la goupille g_1 et le cliquet a pu sans obstacle accomplir sa révolution complète. Le courant positif qui succède aux deux courants négatifs agit, avons-nous dit, sur l'axe n° 3 et non plus sur l'axe n° 1. Mais l'axe n° 3, comme l'axe n° 1, est muni de deux cames k_3 et k_4 dont l'une, dans la demi-révolution qu'il opère, agit sur la branche b_3 du levier B à quatre branches. La branche b_4, dans le mouvement qui en résulte, sépare le cliquet du rochet. Le cliquet est alors ramené en arrière par le ressort du barillet. Le doigt i, au départ, heurte la goupille g et ramène en arrière l'ensemble du secteur et de la plaquette R qui sont arrêtés par un taquet t; la plaquette a repris alors sa position initiale. Le cliquet opère en sens inverse de celle qu'il avait décrite précédemment une révolution complète et en revenant à son point de départ, il est embrayé à nouveau avec le rochet par suite de la rencontre de l'appendice a avec la plaquette R. Cette révolution en arrière du cliquet, et par suite du pignon, a pour résultat de ramener le manchon M à sa position initiale (*fig.* 3), et par suite de rendre le levier L solidaire du levier K_1.

L'emploi de trois émissions négatives successives est employé pour mettre en mouvement la roue des types du poste récepteur. A cet effet, l'arbre que nous avons désigné par la lettre p dans la *fig.* 3 transmet son mouvement au moyen de roues d'angle à une roue munie d'une came. Après trois émissions négatives successives, cette roue a accompli trois quarts de révolution et la came soulève le levier d'arrêt de la roue

des types qui est alors entraînée par le mouvement d'horlogerie. En même temps un bras qui est porté par l'arbre *p*, s'est élevé suffisamment pour appuyer sur le cliquet que nous avons représenté *fig.* 4 et le ramener à son point de départ.

Résumons en quelques mots l'action des différents courants, d'après leur sens et d'après l'ordre dans lequel ils se succèdent.

Un courant positif provoque normalement l'impression soit d'une lettre soit d'un chiffre, suivant que l'une ou l'autre roue des types occupe la position d'impression.

Un seul courant négatif provoque la formation d'un blanc et les courants positifs suivants servent à l'impression des caractères de même ordre que ceux qui précèdent.

Deux courants négatifs successifs ont pour résultat la formation d'un espace blanc double du précédent. Le courant positif qui suit provoque le déplacement des roues des types et les courants positifs suivants servent à imprimer des chiffres si les caractères précédents étaient des lettres, des lettres si les caractères précédents étaient des chiffres.

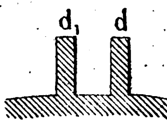
Trois courants négatifs successifs sont employés pour mettre en mouvement la roue des types du poste correspondant.

Tel est, dans son ensemble, l'appareil Hughes transformé que M. Parment emploie comme récepteur. Les autres organes qui doivent, avec ce récepteur, former un poste complet n'ont pas encore été construits, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire. Mais comme M. Parment en avait exposé des dessins très complets, nous pouvons les faire connaître assez exactement.

Perforateur intermédiaire.

Cet organe a pour but de donner, en même temps que le récepteur donne la dépêche imprimée, une bande perforée, reproduction exacte de la bande perforée du départ, toute prête pour la réexpédition.

Il se compose essentiellement d'un tambour qui tourne synchroniquement avec la roue des types de l'appareil récepteur. Le mouvement de l'axe de la roue des types est transmis à l'axe du tambour par un système d'engrenages. Le tambour est divisé en huit secteurs et chacun des secteurs porte six paires de dents dd_1 également espacées sur des arcs d'hélice (*fig.* 5).



Coupe dd_1

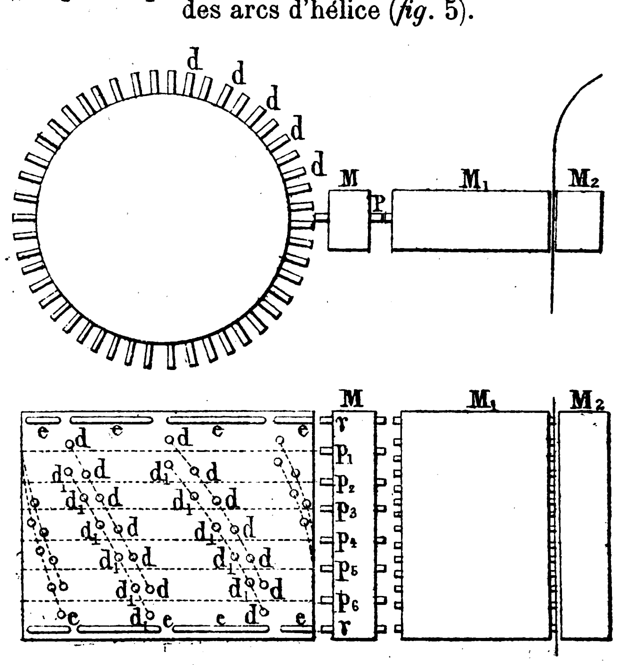


Fig. 5.

Le tambour a donc quarante-huit paires de dents correspondant aux quarante-huit lettres et aux quarante-huit chiffres et signes des deux roues des types.

En regard du tambour se trouvent six propulseurs *p* qui, dans leur position normale, sont toujours compris pendant la rotation du tambour dans l'espace vide compris entre deux dents d'une même paire.

Devant les propulseurs se trouvent douze poinçons. Chaque propulseur peut agir sur deux poinçons différents, l'un produisant les perforations qui correspondent aux émissions positives, l'autre celles qui correspondent aux émissions négatives. Le papier se déroule entre les deux massifs M_1 et M_2, le premier de ces massifs étant traversé par les poinçons, le second portant les matrices. Les propulseurs se trouvent dans le massif M qui peut être déplacé latéralement, comme nous allons le montrer.

A cet effet, les trois arbres 1, 2 et 3 du récepteur sont munis de cames diamétralement opposées $q_1 q_1$, $q_2 q_2$, $q_3 q_4$ (*fig.* 6). Ces cames, pendant une demi-révolution des arbres auxquels elles appartiennent, agissent sur les bras b_1, b_2 ou b_3, qui sont tous solidaires d'un même axe A et sont terminés par les plans inclinés j_1, j_2 et j_3.

Le plan incliné j_2 sur lequel agissent les cames de l'axe n° 2 est orienté en sens inverse des plans j_1 et j_3. L'axe A est, d'ailleurs, relié au massif M qui porte les propulseurs par l'intermédiaire d'un bras B.

Ceci posé, il est facile de voir que lorsque l'un des trois arbres 1, 2 ou 3 accomplit une demi-révolution, par l'action de l'une des cames sur le bras qui lui correspond, le massif M est déplacé latéralement. Seulement, il est à remarquer que lorsqu'il est déplacé par

l'action d'une came q_2, le déplacement a lieu en sens inverse de celui qui est produit par l'action d'une came q_1 ou d'une came q_3.

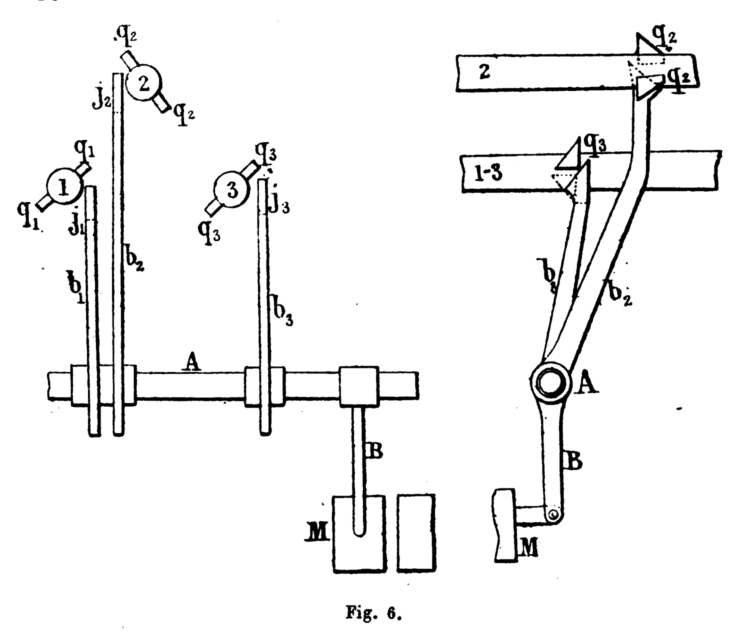


Fig. 6.

Le déplacement du massif M a pour effet de mettre un des propulseurs en regard d'une dent d ou d'une dent d_1 (*fig.* 5), suivant qu'il a été déplacé à droite ou à gauche, et la paire de dent dont l'une doit agir sur lui se trouve déterminée par le moment même où se produit le déplacement. Le propulseur qui a été rencontré par une dent actionne à son tour un poinçon soit positif soit négatif, selon que le mouvement a été provoqué par une dent d ou par une dent d_1.

Lorsqu'un propulseur a agi sur un poinçon correspondant, le massif M est ramené à sa position initiale de la manière suivante : le tambour se termine à une

extrémité par deux roues parallèles munies chacune de quarante-huit dents. Le massif M porte un levier dont l'extrémité terminée par deux petits plans se trouve entre les deux roues dentées. Quand le massif a été déplacé à droite ou à gauche, il se trouve ramené à sa position initiale par l'action d'une des dents sur l'un des plans inclinés. Cette disposition, qui n'a pas été représentée sur une des figures jointes à la présente description, est facile à comprendre.

Les propulseurs sont au nombre de huit et non de six, comme nous l'avons indiqué jusqu'ici. Sur chaque côté du tambour, en regard des sections d'hélice cor-

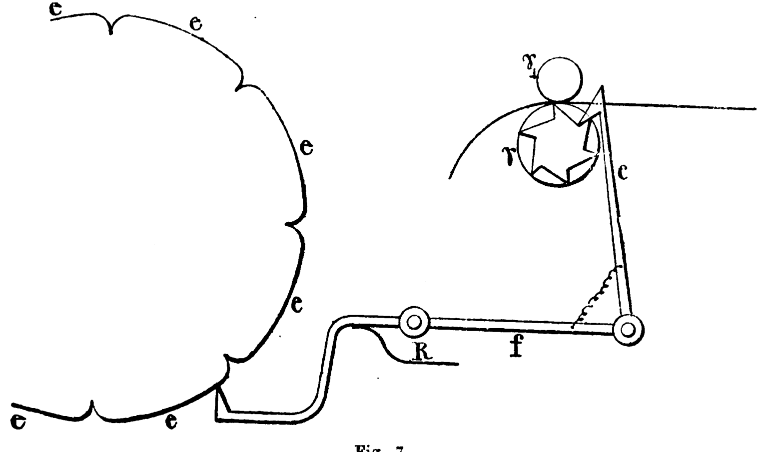


Fig. 7.

respondant à chacun des huit secteurs, se trouvent disposées huit dents *e* (*fig.* 5). A chaque huitième de révolution du tambour, les deux dents *e* situées aux extrémités d'une même génératrice agissent simultanément sur deux propulseurs *r* situés de chaque côté des six dont nous avons parlé précédem-

ment et qui agissent à leur tour sur deux poinçons extrêmes. Ces poinçons perforent de chaque côté de la bande de papier des trous servant de guides.

La bande de papier est déplacée par intermittence au moment où les poinçons des guides sont écartés du trou qu'ils viennent de perforer. A cet effet, la bande est pressée entre deux cylindres r et r_1 dont l'un est muni d'un rochet. Sur le rochet r agit un cliquet c (*fig.* 7) commandé par un levier f, dont l'autre extré-

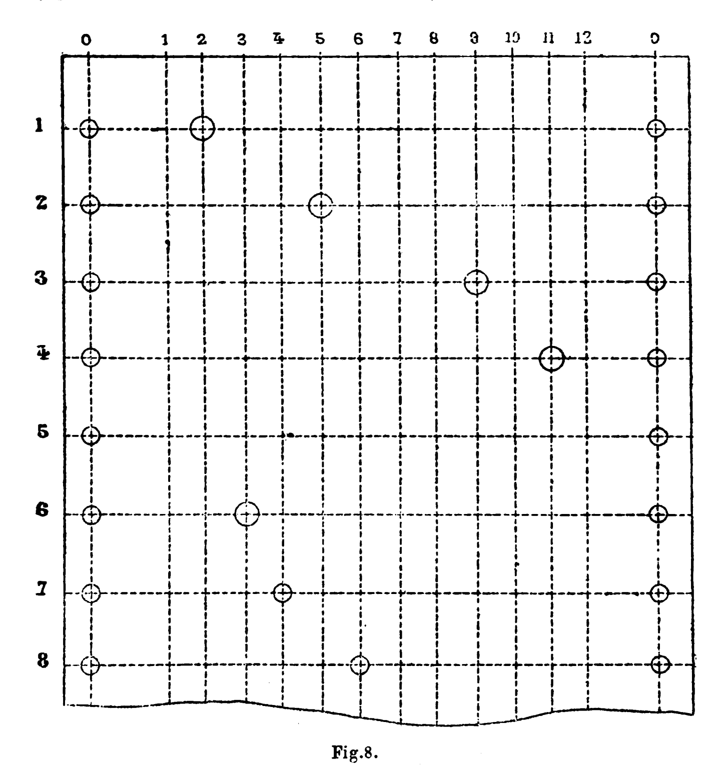


Fig.8.

mité est appuyée par un ressort R sur les dents e du tambour qui commandent les poinçons des guides.

Entre deux dents successives le levier *f* reçoit un mouvement de bascule qui se transmet au cliquet et au rochet et le papier avance de l'intervalle compris entre deux lignes de perforation.

De ce qui précède, on peut voir quel sera l'aspect d'une bande perforée. Un spécimen en est donné par la *fig*. 8.

Supposons, dans le sens de la longueur de la bande, quatorze lignes idéales. Les deux lignes extrêmes seront les lignes des guides, les autres numérotées de 1 à 12 sont telles que les lignes impaires comprennent les perforations correspondant à l'impression d'un caractère et les lignes paires à la formation des blancs. Chaque ligne de perforation transversale comprendra ainsi les deux perforations extrêmes qui servent de guides. Elle ne comprendra jamais plus d'une perforation active. Il pourra arriver qu'elle n'en contienne pas, comme dans la ligne n° 5 sur la figure ci-jointe.

Relais.

Les courants qui agissent sur l'appareil récepteur provoquant à la fois l'impression des caractères et la perforation d'une bande intermédiaire, ne sont pas, ainsi que nous l'avons déjà dit, les courants de ligne.

Les courants de ligne traversent un relai à double armature polarisée *ab* (*fig*. 9). Chacune des armatures peut osciller entre un butoir de repos B et un butoir de travail V, qui sont, l'un et l'autre, d'un même côté de la ligne médiane *xy*. Lorsqu'un courant de ligne traverse le relais, une seule armature est déplacée. L'armature *a* est reliée à l'électro-aimant négatif de l'appareil, l'armature *b* à l'électro-aimant positif. Le

déplacement de l'une ou de l'autre de ces armatures, qui a lieu suivant que le courant de la ligne est négatif ou positif, a pour résultat de les mettre en contact

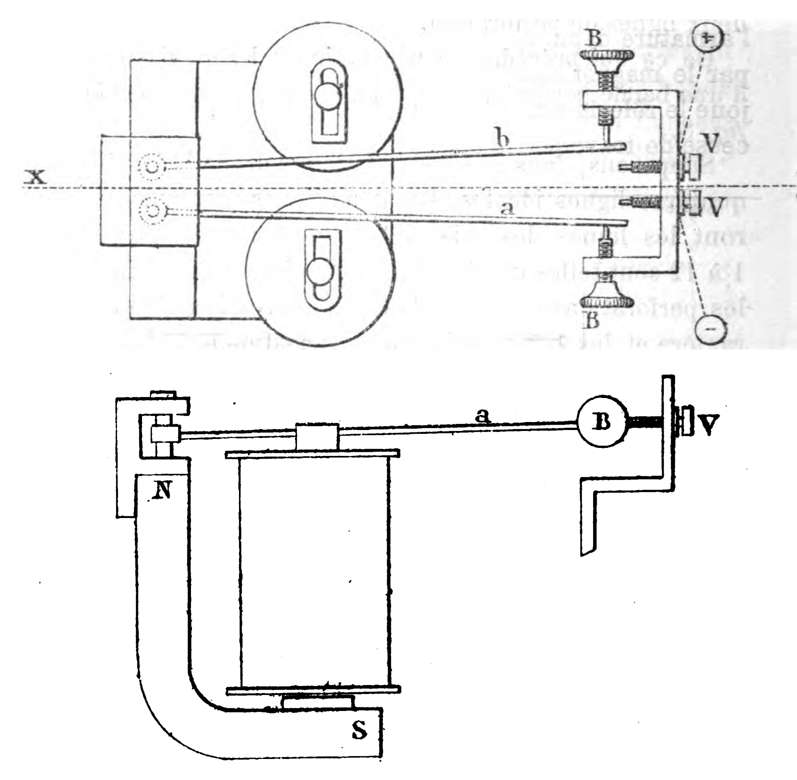


Fig. 9.

avec l'un des butoirs de travail V qui sont reliés l'un à une pile positive, l'autre à une pile négative.

Par conséquent, suivant que le courant de ligne aura été positif ou négatif, un courant positif traversera l'électro-aimant imprimeur de l'appareil ou bien un courant négatif traversera l'électro-aimant des blancs. Chaque électro-aimant recevra toujours un cou-

rant de même sens. C'est pour atteindre ce résultat que l'emploi du relai a été jugé nécessaire.

Lorsque le courant de ligne ne traverse plus le relais, l'armature déplacée est ramenée à sa position initiale par le magnétisme du noyau de la bobine voisine qui joue le rôle de ressort antagoniste. Le courant de ligne cesse de traverser le relais et le rappel de l'armature

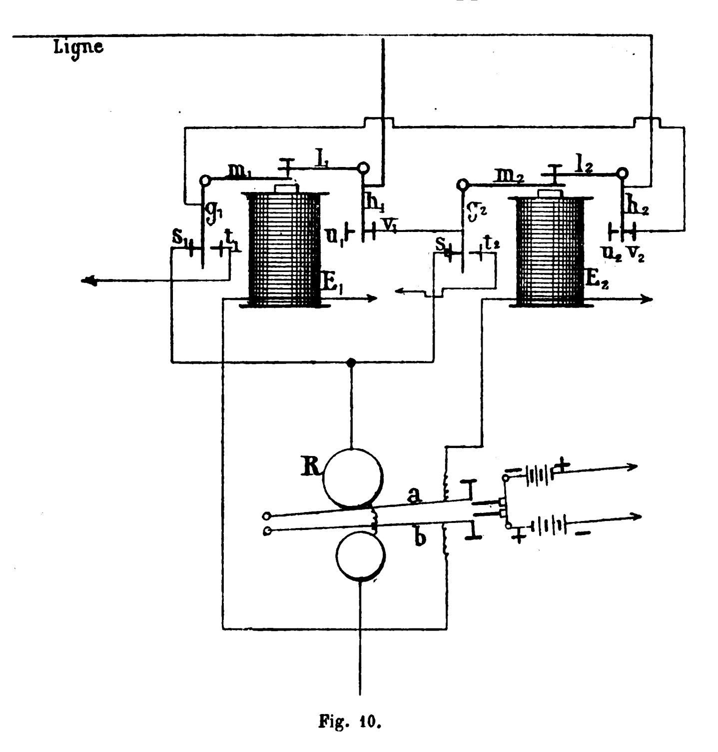


Fig. 10.

se produit au moment précis où l'armature de l'un des électro-aimants du récepteur a quitté la position de repos par une disposition analogue à celle qui est appliquée dans les appareils Hughes ordinaires.

Les armatures et les leviers d'échappement des

électro-aimants b_1 et b_2 sont munies de godilles g_1 et h_1, g_2 et h_2, qui oscillent entre deux vis-butoirs. Le courant de ligne arrive au relais R en suivant le chemin indiqué sur la *fig.* 10.

Lorsqu'une armature du relais, *a* par exemple, a été déplacée, un courant négatif traverse l'électro-aimant E_2, l'armature m_2 est soulevée et, au moment où elle vient au contact du levier l_2, la godille g_2 vient de son côté au contact de la vis-butoir t_2 et une dérivation à la terre sans résistance est offerte au courant de ligne, suivant le circuit $h_2\ l_2\ m_2\ g_2\ t_2$. Le relais cesse immédiatement d'être actionné et l'armature *a* reprend sa position de repos. Le courant de ligne n'agit ainsi sur le relais que pendant le temps strictement nécessaire pour produire son effet.

Perforateur initial.

Nous avons commencé par décrire les organes de réception des signaux en indiquant les raisons qui nous avaient fait adopter cet ordre. Décrivons maintenant les organes du poste de départ et tout d'abord le perforateur qui sert à composer la bande.

Nous avons donné un spécimen d'une bande perforée à la station intermédiaire sous l'influence des courants. A la station de départ, une bande tout à fait semblable a été préparée avant tout autre opération et cela par des moyens purement mécaniques.

Le perforateur initial qui permet d'atteindre ce résultat comporte douze poinçons analogues à ceux du perforateur intermédiaire. Ils sont manœuvrés par des touches et une manette.

Les touches sont au nombre de douze, six blanches

et six noires. Les blanches correspondent aux perforations positives, les noires correspondent aux perforations négatives (formation des blancs). En regard des touches se trouve un prisme octogonal. Sur chaque face du prisme, vis-à-vis de chaque touche blanche, se trouve une lettre ou un chiffre, soit par face six lettres et six chiffres. Ces caractères sont tels que lorsque l'on passe d'une face à la suivante, les caractères qui se trouvent dans un même plan perpendiculaire à l'axe correspondent à des caractères distants de six rangs sur la roue des types qui leur est propre.

Pour perforer la bande, on prend une des faces du prisme P comme repère. Si la première lettre du mot à perforer s'y trouve, on appuie sur la touche blanche qui se trouve en regard de cette lettre et on porte la manette M (*fig.* 11) en avant. La première de ces manœuvres a pour effet de placer horizontal le levier L placé sous la touche et commandé par elle. Il se trouve alors dans la position L′ en regard du poinçon *p*.

La seconde manœuvre, qui consiste à porter la manette en avant, permet alors, par l'intermédiaire de l'appendice *d*, d'agir sur le levier L qui, grâce à la mortaise *m* dans laquelle est engagée son axe, possède un certain jeu et peut être projeté en avant, chassant devant lui le poinçon *p* et produisant, par suite, une perforation dans la bande. Deux leviers, qui ne figurent pas sur le croquis et qui sont placés de chaque côté des touches, sont toujours horizontaux. A chaque mouvement de la manette en avant, ils agissent sur deux poinçons spéciaux et perforent de chaque côté de la bande les trous qui doivent servir de guides.

Le mouvement de la manette d'avant en arrière a

pour résultat : 1° de faire tourner le disque octogonal de 1/8 de révolution et d'amener la face suivante au plan de repère par le jeu du doigt d_2, du cliquet c_2 et

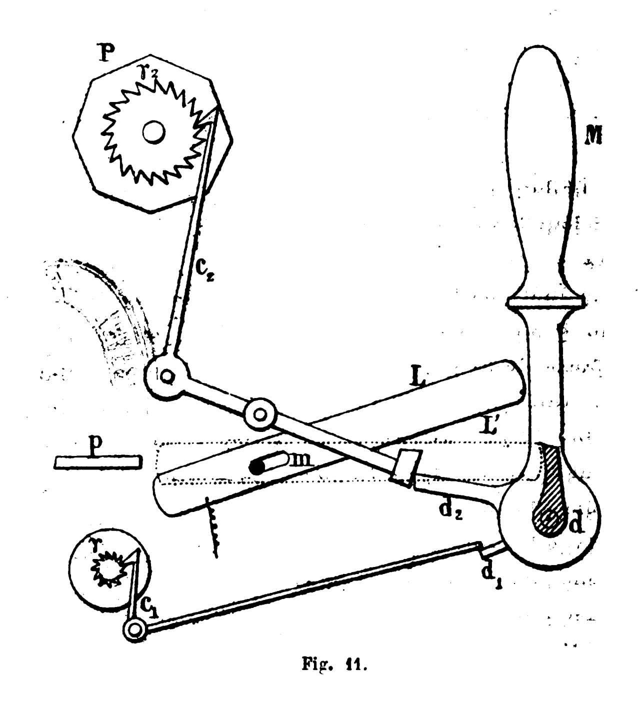


Fig. 11.

du rochet r_2 (*fig.* 11); 2° de faire avancer la bande d'un cran par le jeu du doigt d_1, du cliquet c_1 et du rochet r_1. Dans la nouvelle position du prisme, on peut imprimer une lettre de la face qui se présente pourvu qu'elle se trouve sur la droite de la lettre perforée sur la face précédente.

La perforation d'un blanc se fait sur la touche noire correspondant à la dernière touche blanche d'impression que l'on vient de presser.

S'il n'y a pas de lettre à imprimer sur la face du

prisme qui se présente, on donne à la manette le mouvement avant-arrière sans presser sur une touche. On perfore ainsi les deux trous-guides, on fait tourner le prisme de 1/8 de révolution et on fait avancer la bande.

Transmetteur automatique.

La bande perforée est placée sur le cylindre D contre lequel elle est pressée par les deux cylindres *d* (*fig.* 12).

Le cylindre D est formé de douze disques juxtaposés et isolés les uns des autres. Les disques de rang impair communiquent avec une pile positive, les disques de rang pair avec une pile négative. Les disques isolés se trouvent sous un même nombre de ressorts R, également isolés les uns des autres, et qui communiquent, ceux de rang impair avec l'électro-aimant positif du poste de départ, ceux de rang pair avec l'électro-aimant négatif.

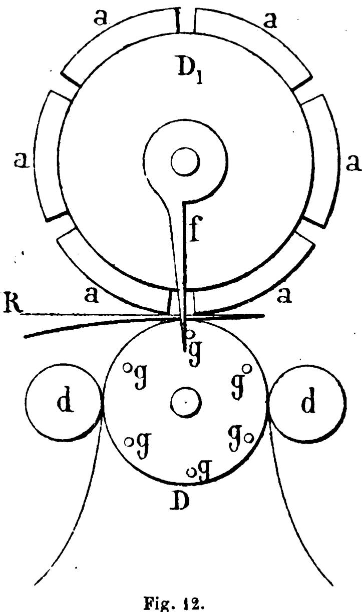


Fig. 12.

Un tambour D_1 tourne au-dessus des ressorts. Il porte sur son pourtour six dents, disposées en hélice. Le pas de l'hélice est égal à la distance des deux res-

sorts extrêmes, et chacune des dents, quand elle se trouve au point le plus bas de sa course, presse sur deux ressorts à la fois. Le tambour D_1, qui reçoit son mouvement du mouvement de l'horlogerie de l'appareil Hughes transformé, tourne huit fois plus vite que la roue des types. Il accomplit sa révolution pendant qu'un groupe de six lettres de cette roue a passé au-dessus de la bande d'impression.

Dans sa révolution, le tambour D_1 abaisse successivement les six paires de ressorts-lames, et, si une perforation a été pratiquée sur la ligne de la bande qui se trouve en ce moment sous les ressorts, un courant positif ou négatif traverse l'un ou l'autre des électro-aimants suivant le rang occupé par le trou perforé.

A chaque révolution du tambour, la bande est d'ailleurs entraînée en avant par le jeu d'un doigt *f* sur l'une des goupilles *g*, dont est muni le cylindre D. Aux extrémités du cylindre D, il y a en outre de petites dents en regard de chaque goupille qui entrent dans les perforations destinées à guider le papier.

Les courants émis par le transmetteur automatique agissent, comme nous l'avons dit, sur les électro-aimants du poste de départ qui constituent le transmetteur des courants de ligne.

A cet effet, l'armature A des électro-aimants porte une godille *g* isolée du massif et oscillant entre deux butoirs. Cette godille a déjà été représentée *fig.* 10. On peut encore la voir *fig.* 13.

Le butoir de repos *v* est relié au relais, le butoir de travail v_1 est relié à une pile, pile positive pour l'un des électro-aimants, pile négative pour l'autre. La godille *g* est reliée à la ligne. Aussi quand l'armature est déplacée un courant est émis sur la ligne par la

pile p. Ce courant est de même sens que celui qui a été émis dans les électro-aimants par le transmetteur automatique. En même temps qu'elle déplace la go-

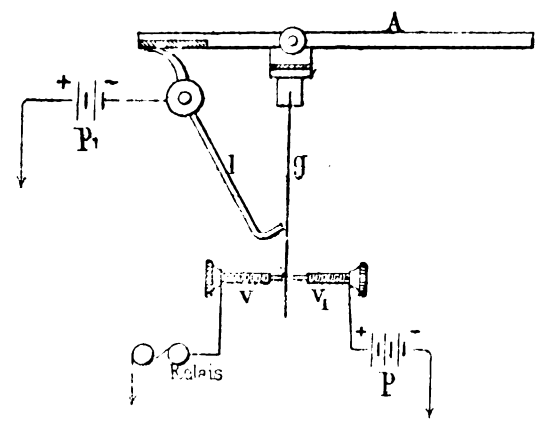


Fig. 13.

dille, l'armature A appuie par sa partie postérieure, qui est isolée sur un levier l dont l'extrémité recourbée se trouve tout près de la godille. Dans le mouvement de la godille en arrière du butoir v_1 au butoir v, elle repousse ce levier l. Il se produit un contact assez court, qui envoie sur la ligne le courant de la pile p_1 de sens contraire à celui de la pile p.

Le levier d'échappement de l'électro-aimant est, lui aussi, comme nous l'avons vu (*fig.* 10), muni d'une godille oscillant entre deux butoirs. Cette godille sert de commutateur pour mettre la ligne à la terre dès que le courant de ligne a agi sur le relais.

On voit ainsi qu'après chaque émission de courant la ligne est à la terre à l'une de ses extrémités et reliée à une pile de décharge à l'autre extrémité.

Rendement. — Le rendement de l'appareil de M. Par-

ment est environ deux fois et demie celui de l'appareil Hughes, en donnant à la roue des types la vitesse de 120 tours par minute. En augmentant cette vitesse jusqu'à 150 tours par minute, ce qui n'a rien d'exagéré, on pourrait tripler le rendement du Hughes.

En outre de la question de rendement de l'appareil, il y a lieu de mettre en avant l'économie de temps et de personnel qui résulterait de la suppression de la traduction aux postes intermédiaires, par suite de la perforation automatique de la bande. Au poste de départ même, on n'aurait besoin que d'un nombre relativement restreint de personnel pour perforer les bandes, car la manœuvre du perforateur initial est facile et les commençants, les journalistes, etc., pourraient aisément envoyer leurs bandes toutes perforées.

Quelle sera, au juste, la valeur pratique de l'appareil? Il est difficile de le préjuger, puisque, comme nous l'avons déjà dit, la plupart des organes ne sont même pas construits. Mais on peut dire dès aujourd'hui que, malgré une certaine complication, il a été conçu avec beaucoup d'intelligence. Toutes les conditions mécaniques et électriques d'un bon fonctionnement ont été bien étudiées. Il est à désirer que l'inventeur mène son œuvre à bonne fin.

(*A suivre.*) H. THOMAS.

PILES HYDROÉLECTRIQUES

CALCUL DE LEUR FORCE ÉLECTROMOTRICE (*)

Loi de Thomson. — Dans un circuit à température uniforme contenant une pile hydroélectrique, le passage du courant détermine : d'une part, dans la pile même, des réactions chimiques (par exemple, dissolution du zinc dans l'acide, mise en liberté du cuivre); d'autre part, un dégagement de chaleur aux divers points du circuit. Il est rationnel de supposer que la chaleur totale recueillie dans le circuit est égale à la *chaleur chimique*, c'est-à-dire à l'énergie calorifique que doivent développer, comme l'on sait, les réactions chimiques. Cette proposition, énoncée par E. Becquerel, a été pleinement confirmée par les expériences de Favre (1853). Il résulte, en outre, de ces expériences que si le courant passe, par exemple, dans une machine électromagnétique et produit un certain travail, la chaleur dégagée dans le circuit est inférieure à la chaleur chimique d'une quantité égale à l'équivalent calorifique du travail produit. Tout ces faits découlent du principe de la conservation de l'énergie.

(*) Ce sujet n'ayant point encore été traité dans les *Annales télégraphiques*, nous avons cru devoir faire précéder de la présente note l'exposé des recherches de MM. Chroustchoff et Sitnikoff, qui fait l'objet d'un article publié dans le numéro suivant.

La quantité de chaleur dégagée en vertu de la loi de Joule dans un circuit de résistance R, parcouru par un courant i pendant le temps t, est représentée par Ri^2t si on l'évalue en unités mécaniques. Celle qui correspond au passage de l'unité d'électricité ($it = 1$) est $Ri = E$, c'est-à-dire la force électromotrice de la pile. Or, pendant le passage de l'unité d'électricité, les réactions chimiques portent sur un équivalent électrochimique de l'électrolyte. Ces considérations avaient conduit Sir W. Thomson à poser la loi suivante (1851) :

La force électromotrice E d'un système électrochimique est, en mesure absolue, égale à l'équivalent mécanique A de l'action chimique effectuée sur un équivalent électrochimique de la substance.

Ainsi dans la pile Daniell, pendant le passage d'un coulomb, un équivalent électrochimique de zinc ($0^{gr},000338$) se dissout au pôle négatif dans un équivalent de SO^4 ($0^{gr},000497$) pour former un équivalent de sulfate de zinc ($0^{gr},000835$) ; tandis qu'au pôle positif un équivalent de sulfate de cuivre ($0^{gr},000826$) est décomposé et un équivalent de cuivre ($0^{gr},000329$) est déposé. La dissolution d'un équivalent électrochimique de zinc dégageant 0,568 petites calories, et la décomposition du sulfate de cuivre en absorbant 0,304, la chaleur chimique correspondant au passage d'un coulomb est égale à l'excès $0,568 - 0,304 = 0^c,264$, ou en unités mécaniques dans le système pratique : $A = 4,17 \times 0,264 = 1^v,10$. La valeur de la force électromotrice E de la pile, mesurée directement, est $1^v,07$; elle varie du reste un peu avec le degré de concentration du liquide. La loi de Thomson se vérifie donc d'une manière approximative.

On calcule ainsi la force électromotrice d'un grand nombre de piles ou la force contre-électromotrice des voltamètres lorsqu'on connaît la chaleur dégagée dans les piles ou absorbée dans les voltamètres par les réactions chimiques portant sur un équivalent électrochimique des électrolytes (*).

Toutefois la loi de Thomson est loin de se vérifier pour toutes les piles. Ainsi, en remplaçant le cuivre par l'argent dans la pile Daniell, on trouve que la force électromotrice E est inférieure à la chaleur chimique A, évaluée en unités mécaniques, de $0^v,36$. L'écart A — E est même bien plus considérable dans certains couples; il est le plus souvent positif, mais quelquefois négatif. A et E peuvent même être de signes contraires. On peut dire seulement que les couples où se produisent les actions chimiques A les plus intenses sont en général ceux qui possèdent les forces *e. m.* les plus élevées.

Analyse des phénomènes dans la pile. — La loi de Thomson est donc en défaut; mais le principe de la conservation de l'énergie n'est nullement infirmé pour cela. L'énergie chimique ne doit pas se transformer intégralement en chaleur dégagée en vertu de la loi de Joule, c'est-à-dire que l'on ne doit pas poser $A = Ri = E$. En effet :

1° Les soudures, au nombre de trois au moins, absorbent ou dégagent de la chaleur sous l'action du courant; elles donnent lieu aux effets Peltier, qui doivent entrer en ligne de compte par un terme A′ dans le calcul de la force *e. m.* et s'ajouter à A. Dans un circuit métallique à température uniforme A′ serait nul;

(*) Voir des exemples de calculs semblables : *Annales télégraphiques*, 1885, p. 226.

mais il n'en est pas de même en général, comme on le verra ci-après, lorsque le circuit renferme des électrolytes; A′ peut être soit positif, soit négatif.

2° La pile peut donner lieu à des réactions secondaires : attaque locale des électrodes, occlusion des gaz par celles-ci (absorption d'oxygène ou d'hydrogène par le platine par exemple), foisonnement des produits de l'électrolyse, dégagement de gaz, formation de précipités, etc. Ces diverses causes absorbent une partie de l'énergie chimique et réduisent d'autant l'énergie voltaïque $Ri = E$ disponible dans le circuit. Enfin le circuit peut s'échauffer inégalement sous l'action du courant; de là production des forces thermoélectriques, qui doivent s'ajouter à E.

Parmi ces divers phénomènes qui sont l'origine de la différence $(A - E)$, les uns sont réversibles, c'est-à-dire que, s'ils dégagent une quantité Ch de chaleur pendant le passage de l'unité d'électricité dans un sens, ils absorbent la même quantité Ch pendant le passage de l'unité d'électricité en sens inverse dans le circuit. Tels sont : l'effet Peltier, le dégagement des gaz sous les cloches renversées dans un voltamètre à eau (le courant inverse recomposant ces gaz), le foisonnement des produits de l'électrolyse lorsqu'ils reviennent au volume primitif par le passage du courant inverse. Les autres au contraire sont irréversibles, dégageant de la chaleur quel que soit le sens du courant; telles sont l'attaque locale des électrodes, la formation des précipités, etc. Ces phénomènes échappent actuellement à l'analyse. Mais ceux qui sont réversibles peuvent être calculés; c'est ce que nous nous proposons de faire.

Avant d'aborder le cas général, considérons le cas

d'une pile à gaz, dans laquelle le passage du courant correspond à une diminution proportionnelle de la masse des gaz renfermés sous des cloches. Soit, pour fixer les idées, un voltamètre à eau. Si ρ et ρ' désignent les densités des gaz à la température θ et à la pression p, ρ_0 et ρ'_0 leurs densités à 0° et à la pression p_0 de 760^{mm} de mercure, on a, d'après la loi de Mariotte :

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0}(1+\alpha\theta)$$
$$\frac{p}{\rho'} = \frac{p_0}{\rho'_0}(1+\alpha\theta)$$

D'autre part, soient u et u' leurs diminutions de volume par le passage de l'unité d'électricité; $\varpi = \rho u$ et $\varpi' = \rho' u'$ les masses correspondantes des gaz recombinés. Le travail de la pression sur les masses ϖ et ϖ' dont les volumes sont réduits de u et u' à des valeurs négligeables (volume liquide occupé par $\varpi + \varpi'$) est égal à $p(u+u')$. Ce travail devenant disponible dans le circuit, la force *e. m.* est augmentée d'autant. Or on a :

$$p(u+u') = p\left(\frac{\varpi}{\rho} + \frac{\varpi'}{\rho'}\right)$$
$$= p_0\left(\frac{\varpi}{\rho_0} + \frac{\varpi'}{\rho'_0}\right)(1+\alpha\theta)$$

Dans le système C.G.S. la pression de 760^{mm} de mercure a pour valeur $p_0 = 1{,}033 \times 981.000$ dynes par *cmq*. Les densités de l'hydrogène et de l'oxygène sont : $\rho_0 = 0{,}00008958$ et $\rho'_0 = 16\rho_0$. Les équivalents électrochimiques ϖ et ϖ' correspondant au passage de l'unité électro-magnétique C.G.S. d'électricité (10 coulombs) sont : $\varpi = \frac{1^{gr}}{9660}$ et $\varpi' = 8\varpi$. Donc :

$$p(u+u') = \frac{3}{2} \times 1{,}033 \times 981000 \frac{1+\alpha\theta}{9660 \times 0.00008958}$$
$$= \frac{3}{2} \times 1171.000\,(1+\alpha\theta) \quad \text{C.G.S.}$$

C'est là l'expression du renforcement de la force *e. m.*, en unités C. G. S. dû au travail de la pression p. Dans le système pratique, ce résultat doit être multiplié par 10^{-8}. L'accroissement de force *e. m.* du couple à oxygène et hydrogène est donc : $0^{v},0176\,(1+\alpha\theta)$, valeur croissante avec la température, mais indépendante de la pression p.

Le produit $p\,(u+u')$ représentera encore la modification apportée à la force électromotrice dans une pile à éléments liquides ou solides dont les variations de volume sont u et u'. Mais cette valeur est alors sensiblement proportionnelle à la pression p, à cause de la faible compressibilité de ces éléments.

« De même tout autre travail, quel qu'il soit, qui s'effectue pendant l'électrolyse aura son effet sur la valeur de la force électromotrice. Par exemple si un courant vertical passe entre deux électrodes de zinc dans une solution de sulfate de zinc, il faudra une force électromotrice plus grande si, dans la solution, le courant va de bas en haut que s'il va de haut en bas; car dans le premier cas le zinc est transporté de l'électrode inférieure à l'électrode supérieure, et dans le second de l'électrode supérieure à l'électrode inférieure. La force électromotrice nécessaire de ce chef est inférieure à un millionième de celle de l'élément Daniell, par pied de distance entre les électrodes. » (Maxwell § 263).

Théorie des piles réversibles. — Considérons maintenant une pile quelconque réversible, de résistance r,

que l'on fait traverser par un courant i excessivement faible, de telle sorte que la chaleur ri^2t dégagée en vertu de la loi de Joule est excessivement minime ou que le rapport $\frac{ri}{E}$ est négligeable. Λ' désignant la somme des effets Peltier, on maintiendra constante la température θ des soudures pendant le passage de la quantité dq d'électricité, en leur fournissant la quantité de chaleur $\Lambda' dq$ au moyen d'une source de chaleur à la température θ. Si l'on veut en même temps élever de $d\theta$ la température du couple, il faut lui fournir une quantité de chaleur $cd\theta$, c désignant sa chaleur spécifique; de telle sorte que la quantité totale de chaleur fournie au couple, en évaluant tout en unités mécaniques, est représentée par

$$dQ = cd\theta + \Lambda' dq. \tag{1}$$

En même temps l'énergie potentielle U du couple s'accroît : 1° de $cd\theta$ en raison de son élévation de température; 2° de $-\Lambda dq$, valeur, changée de signe, de l'énergie potentielle chimique disparue dans la pile pendant le passage de la quantité d'électricité dq. Donc :

$$dU = cd\theta - \Lambda dq. \tag{2}$$

La force électromotrice E se compose du terme Λ dû aux actions chimiques et de la somme Λ' des effets Peltier :

$$E = \Lambda + \Lambda'. \tag{3}$$

Plus rigoureusement on doit comprendre dans l'accroissement d'énergie dU le travail produit par la pression atmosphérique sur le couple (voir ci-dessus) pendant le passage de la quantité dq, ainsi que d'autres

termes semblables s'il y a lieu. Ces termes contenant dq en facteur, cela revient à modifier la valeur du coefficient A, qui différera un peu de la chaleur chimique. De même A' devra être corrigé s'il existe d'autres phénomènes réversibles produisant un emprunt de chaleur à la source θ analogue à l'effet Peltier. D'une manière générale, A' et A désignent deux coefficients définis par les équations (1) et (2), dans lesquelles on tient compte de tous les phénomènes réversibles qui se produisent dans la pile. Leur somme fera connaître dans tous les cas la force électromotrice E (3).

Puisqu'il ne s'agit que de phénomènes réversibles, on sait, d'après les principes de la thermodynamique, que la variation dU d'énergie potentielle du couple doit être une différentielle totale exacte, ainsi que le quotient de dQ par la température absolue θ, c'est-à-dire :

$$(1') \qquad \frac{dQ}{\theta} = \frac{c}{\theta}\, d\theta + \frac{\Lambda'}{\theta}\, dq.$$

Les variables indépendantes étant θ et q, ces deux conditions s'écrivent :

1° Pour dU :

$$(4) \qquad \frac{\partial c}{\partial q} = -\frac{\partial \Lambda}{\partial \theta}.$$

2° Pour $\frac{dQ}{\theta}$:

$$(5) \qquad \frac{\partial}{\partial q}\left(\frac{c}{\theta}\right) = \frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{\Lambda'}{\theta}\right).$$

Cette dernière condition peut s'écrire :

$$\frac{1}{\theta}\frac{\partial c}{\partial q} = \frac{1}{\theta}\frac{\partial \Lambda'}{\partial \theta} - \frac{\Lambda'}{\theta^2}.$$

ou, en tenant compte de (4) et de (3) :

$$(6) \qquad \Lambda' = \theta\,\frac{dE}{d\theta}.$$

Il en résulte :

$$\Lambda = E - \theta \frac{dE}{d\theta}. \qquad (7)$$

et :

$$\frac{\partial c}{\partial q} = - \frac{\partial \Lambda}{\partial \theta} = \theta \frac{d^2E}{d\theta^2}. \qquad (8)$$

La loi de Thomson : $\Lambda = E$ *doit donc être remplacée par la relation* (7).

Application numérique. — On a, pour le couple zinc-sulfate de zinc-sulfate d'argent-argent, les données expérimentales suivantes (*) à la température de 18 degrés centigrades ($\theta = 273 + 18 = 291$) :

$$E = 1^v{,}51 \text{ et } \frac{dE}{d\theta} = -0^v{,}0012.$$

D'après la relation (7) on doit donc avoir :

$$\Lambda = 1{,}51 + 291 \times 0{,}0012 = 1{,}86.$$

Cette valeur calculée de Λ concorde bien avec la valeur 1,9 mesurée par M. Berthelot.

Pour que la loi de Thomson : $\Lambda = E$ soit applicable à un couple, il faut, d'après (7), que la variation $\frac{dE}{d\theta}$ de la force électromotrice avec la température soit nulle. Il en résulte d'après (8) :

$$\frac{\partial c}{\partial q} = o, \text{ et } \frac{\partial \Lambda}{\partial \theta} = o.$$

La deuxième condition exprime que la chaleur de combinaison (ou, plus généralement, le coefficient Λ) des éléments de l'électrolyse doit être indépendante de la température. D'après la première, la chaleur spéci-

(*) *Bulletin de la Société française de physique*, 1885, p. 180, note de M. Potier.

fique c du couple doit rester la même après le passage du courant qu'avant, c'est-à-dire la même lorsque les éléments de l'électrolyse sont libres que lorsqu'ils sont combinés (loi de Wœstyne).

La réciproque n'est pas exacte. De ce que l'on a dans un couple : $\frac{dc}{dq} = -\frac{d\Lambda}{d\theta} = 0$, on déduit d'après (8) : $\frac{dE}{d\theta} = C^{te} = -a$; et par suite la différence : $\Lambda - E = a\theta$ est proportionnelle à la température absolue, mais n'est pas forcément nulle. Λ est alors une constante puisque $\frac{d\Lambda}{d\theta}$ est nul, et la force électromotrice E est une fonction linéaire de la température.

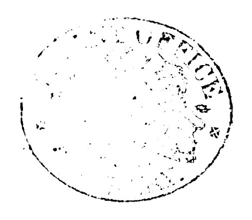
L'état du couple *réversible* considéré jusqu'ici est défini par les variables θ et q. Si le couple est enfermé dans un compartiment dont on peut faire varier le volume u à volonté au moyen d'un piston, l'espace au-dessus du liquide contiendra les vapeurs qu'il émet. L'évaporation est limitée par la saturation de cet espace, et elle devient un phénomène réversible dont on peut tenir compte dans la théorie, tandis qu'elle échappait à l'analyse dans le cas étudié plus haut. En outre, la concentration des électrolytes salins, qui dépend de l'évaporation, intervient alors. D'autre part, les variables θ, q et u étant au nombre de 3, les conditions pour que dU et $\frac{dQ}{\theta}$ soient des différentielles exactes seront au nombre de 6 au lieu de 2. Il en résulte de nouvelles relations qui permettront de perfectionner la théorie de la pile (*). Dans tous les cas, la relation

(*) Lippmann, *Cours de thermodynamique.*

principale (7) subsiste, *à la condition que les phénomènes irréversibles aient une influence nulle ou négligeable.*

C'est M. Helmholtz qui a fait connaître cette importante relation. Ce n'est là qu'une première correction à apporter à la loi de Thomson; mais elle paraît à peu près suffisante dans un grand nombre de cas, ainsi que tendent à le démontrer les récentes recherches de MM. Chroustchoff et Sitnikoff.

VASCHY.



CHRONIQUE.

Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1889.

Par M. TH. MOUREAUX.

Parc Saint-Maur. — Les observations magnétiques ont été poursuivies en 1888 avec les mêmes appareils et d'après les mêmes méthodes que les années précédentes (*). On s'est assuré, par des graduations faites régulièrement, deux fois par mois, que la sensibilité des appareils de variations est restée constante; d'un autre côté, les valeurs correspondant aux repères des courbes relevées au magnétographe de M. Mascart sont vérifiées au moyen de fréquentes mesures absolues, répétées toutes les semaines au moins; le dépouillement des courbes est effectué pour toutes les heures du jour.

Une légère agitation des barreaux aimantés s'étant manifestée dans la soirée du 1er janvier, les valeurs absolues des éléments magnétiques à cette date ont été déduites de la moyenne des observations horaires obtenues au magnétographe, du 31 décembre à une heure du soir au 1er janvier à midi, période pendant laquelle les variations ont été régulières; on a d'ailleurs rapporté les indications du magnétographe à des mesures absolues faites le 31 décembre et le 2 janvier.

En comparant ces valeurs à celles qui ont été données pour le 1er janvier 1888, on obtient la variation séculaire des divers éléments en 1888.

	Valeurs absolues au 1er janvier 1889.	Variations séculaires en 1888.
Déclinaison.	15° 47′,4	— 4′,7
Inclinaison	65° 13′,7	— 1′,0
Composante horizontale.	0,19508	+ 0,00028
Composante verticale.	0,42275	+ 0,00030
Intensité totale.	0,46559	+ 0,00039

(*) *Comptes rendus*, t. CVI, p. 131; 1888. — Voir *Annales télégraphiques*, 1888, p. 191 et 287.

L'observatoire du parc Saint-Maur est situé par 0° 9′ 23″ de longitude est et 48° 48′ 34″ de latitude nord.

Perpignan. — L'observatoire de Perpignan, que dirige M. le Dr Fines, est également muni du même magnétographe et d'appareils spéciaux, pour les mesures absolues. Les méthodes d'observation et de réduction sont celles qui ont été adoptées à l'observatoire du parc Saint-Maur.

Les valeurs des éléments magnétiques du 1er janvier 1889, déduites du dépouillement des courbes de variations du 31 décembre 1888 et du 1er janvier 1889, et rapportées à des mesures absolues faites le 27 décembre et le 3 janvier par M. Cœurdevache, sont les suivantes :

Déclinaison	14° 34′,1
Inclinaison	60° 19′,2
Composante horizontale	0,22193
Composante verticale	0,38941
Intensité totale	0,44821

L'observatoire de Perpignan est situé par 0° 31′ 45″ de longitude est et 42° 42′ 8″ de latitude nord.

(*Comptes rendus*, 7 janvier 1889.)

De l'action magnétique des courants de déplacement dans un diélectrique.

D'après l'opinion bien connue de Maxwell sur l'action électrostatique, les variations de déplacement électrique qui se produisent pendant la charge ou la décharge d'un diélectrique doivent être considérées comme équivalant à des courants électriques. Ce fait n'avait pas encore reçu de démonstration expérimentale directe. L'auteur, admettant l'équivalence, avait calculé l'effet que produirait la charge ou la décharge d'un condensateur sur une aiguille astatique sensible placée près de l'arête du condensateur et avait conclu que ces effets seraient trop délicats pour pouvoir être mesurés. Il eut donc recours à une autre méthode basée sur ce principe que si on trace une courbe fermée autour du flux de déplacement électrostatique, la ligne intégrale de force d'aimantation, entourant cette courbe,

donnera à un moment quelconque la mesure des variations du déplacement électrique dans la courbe.

Deux modèles d'appareils ont été construits pour réaliser le fait par voie expérimentale. Dans le meilleur des deux, il y a un anneau de fer entouré d'une bobine de fil de cuivre fin garni de soie et logé dans une couche de paraffine entre deux plaques de verre, dont les surfaces extérieures sont recouvertes de papier d'étain de manière à former les lames d'un condensateur. Les déplacements électriques se font à travers l'ouverture de l'anneau de fer. Toute variation dans ce déplacement développe des forces magnétiques agissant autour de l'anneau de fer qui est, par conséquent, soumis à une aimantation variable. Par contre, l'anneau produit dans le fil de cuivre qui l'entoure des courants d'induction que l'on reçoit et perçoit dans un téléphone ordinaire. Le condensateur est relié à une bobine de Ruhmkorf qui sert à le charger et à le décharger rapidement. Les sons reçus dans le téléphone démontrent la réalité de l'action magnétique des variations du déplacement électrique.

L'auteur déclare que cet appareil, que l'on peut considérer comme une nouvelle espèce de plan d'épreuve pour l'exploration des champs électrostatiques variables, est probablement susceptible d'autres applications utiles, telles que la recherche des capacités spécifiques inductives.

(Communication de M. S. P. Thompson à la *Royal Society*. Traduction de la *Revue int. de l'électr.*)

Sur les alliages au ferro-manganèse.

M. Weston a indiqué (*) qu'on pouvait obtenir un alliage présentant une très grande résistance spécifique et un faible coefficient de variation de résistance avec la température en fondant ensemble les quantités convenables de cuivre, de fer et de manganèse. Récemment M. B.-H. Blood reprit ces études pour déterminer l'influence des conditions physiques sur les

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVI, 1889, p. 93.

proprietés de ces alliages. Les métaux étaient fondus par un arc puissant, puis étaient martelés, étirés et coupés en bandes de 10 ohms chacun; leur résistance était déterminée par la chute de potentiel d'un courant connu, et leur température était élevée au moyen d'un bain d'huile. M. Blood a reconnu ainsi (**) qu'une petite quantité de ferro-manganèse ajoutée à du cuivre fait croître très vite sa résistance spécifique et diminuer son coefficient de variation jusqu'à ce qu'il approche de zéro; à ce moment, de nouvelles additions de ferro-manganèse produisent très peu de variations. En ajoutant 5 p. 100 de nickel environ, la valeur du coefficient devenait négative. La grandeur de ce coefficient est fortement modifiée par l'état physique de l'alliage; ainsi des échantillons qui avaient un coefficient positif lorsqu'ils étaient écrouis, avaient au contraire un coefficient négatif lorsqu'ils étaient recuits. Le recuit diminuait invariablement la résistance spécifique, généralement de 5 à 8 p. 100, ce qui montre que ces alliages ne peuvent être employés pour la fabrication des boîtes de résistance s'ils ne sont pas parfaitement recuits.

Les alliages à 10 p. 100 de ferro-manganèse ont une résistance spécifique de 12, et un coefficient de température de 1 p. 100 pour 100 degrés C. Avec 20 p. 100 de ferro-manganèse, la résistance spécifique est de 30 et le coefficient varie de 1/4 pour 100 négatif à 1/2 pour 100 positif. Avec 30 p. 100, la résistance spécifique est de 45 et le coefficient ne change plus. Une petite addition de nickel baisse le coefficient à — 0,5 pour 100. Un alliage à 6 pour 100 de ferro-manganèse a les mêmes propriétés que le maillechort. G. R.

(*Électricien*, 10 août 1889.)

Le téléphone entre Vienne et Pesth.

Un arrangement a été conclu entre les gouvernements de la monarchie austro-hongroise, en vue de régulariser l'introduction des communications téléphoniques entre les deux moitiés de la monarchie. Il contient, en particulier, les conditions

(*) Cornell Crank, *Abstract of Thesis.*

d'installation et d'exploitation d'une ligne téléphonique entre Vienne et Buda-Pesth. En vertu de cet arrangement, les deux gouvernements ont résolu de commencer la construction de la ligne au plus tard le 15 août et de l'achever à la fin du mois d'octobre de l'année présente. Le gouvernement autrichien construira jusqu'à Bruck, sur la Leitha, et le gouvernement hongrois continuera la ligne jusqu'à Buda-Pesth. Trois conducteurs seront posés pour commencer, deux desquels seront particulièrement destinés aux communications de bourse. La taxe d'une conversation sera, comme sur la ligne Vienne-Brunn, d'un florin, mais la durée de la conversation sera de trois minutes. En outre, les communications téléphoniques urgentes supporteront, comme les télégrammes urgents, une triple taxe, c'est-à-dire trois florins. Naturellement plus tard, dans un certain temps, les abonnés au téléphone à Vienne et à Buda-Pesth seront mis en relation.

(*Der Electro Techniker*, 15 août 1889.)

Application du téléphone.

Un des plus curieux usages du téléphone, à Stockolm, est celui qu'en font les petits vapeurs en abordant à la jetée; ils se relient à la ligne téléphonique dès leur arrivée et s'en servent pour faire les commissions dont ils sont chargés par les personnes habitant le pourtour de la baie. La cabine du capitaine est munie d'une petite boîte qu'on n'a qu'à attacher à la ligne. Pendant l'été, où les villégiatures sont nombreuses dans la baie, cette disposition fort commode est d'une grande ressource.

(*Electrical World*, 10 août 1889.)

Intensité minima des courants téléphoniques.

Dans un article publié par le *Bulletin de la Société des électriciens belges* (mai 1889), M. Piérard, ingénieur au télé-

graphe belge, rend compte d'expériences récentes qui lui ont permis de déterminer l'intensité des courants téléphoniques correspondant à la limite des sons perceptibles rendus par un transmetteur.

Le nombre trouvé par M. Piérard correspond à 0,55 micro-ampères.

Dans des expériences effectuées par MM. Estaunié et Brylinski dans le courant de l'année dernière, nous avons trouvé, pour ces courants, une valeur de 0,885 micro-ampères. Les deux résultats sont donc de même ordre.

La différence entre les chiffres énoncés provient de deux raisons différentes. M. Piérard a en effet exécuté ses expériences sur des téléphones montres très sensibles, tandis que celles de MM. Estaunié et Brylinski étaient effectuées sur un récepteur ordinaire (système d'Arsonval), déjà ancien.

De plus, pour cette intensité de 0,55 micro-ampères, six téléphones seulement sur dix expérimentés cessaient de donner un son. La valeur trouvée pour le courant n'a donc même rien d'absolu.

Enfin M. Piérard suppose dans sa méthode que le circuit téléphonique sur lequel il expérimente est un circuit sans capacité, bien qu'il y introduise des résistances allant jusqu'à 200.000$^{\omega}$. Des expériences récentes ont montré que la capacité de pareilles résistances était très loin d'être négligeable, et il se peut que l'erreur provenant de ce fait soit assez considérable pour faire varier d'un ou deux dixièmes de sa valeur le chiffre trouvé.

BIBLIOGRAPHIE

Traité d'électricité et de magnétisme, par J. Clerk-Maxwell, traduit de l'anglais par M. Seligmann-Lui.

Nous avons déjà annoncé precédemment (*) la publication de cet important ouvrage, commencé en 1884. Le dernier

(*) *Annales télégraphiques* 1884, p. 357, et 1886, p. 397.

fascicule vient de paraître à la librairie Gauthier-Villars. Voici les termes dans lesquels M. Sarrau a présenté à l'Académie des Sciences l'édition française du traité de Maxwell :

« Cette publication sera sans doute bien accueillie du monde savant; car bien que l'on possédât déjà l'excellent traité de MM. Mascart et Joubert, il était à désirer que les physiciens et les ingénieurs électriciens fussent mis à même d'étudier, dans l'œuvre originale de l'illustre physicien anglais, les principes et les méthodes qui ont si profondément transformé la théorie de l'électricité.

« En traduisant cette œuvre considérable, M. Seligmann-Lui a scrupuleusement reproduit la pensée de l'auteur et, en entreprenant cette tâche ardue, qu'il a su accomplir avec ses obligations professionnelles, le jeune ingénieur des télégraphes a rendu à la science un service signalé.

« Voici le but que l'on s'est proposé en essayant, ce qui pouvait paraître téméraire, d'ajouter des notes à une œuvre qui semble si complète.

« Il est manifeste qu'en écrivant ce livre, Maxwell s'est vivement préoccupé de faire un ouvrage didactique. Il est permis de dire que ce but n'a pas été entièrement atteint; cette œuvre, qui renferme tant d'aperçus originaux et de sujets de méditations, offre, surtout au point de vue de l'enseignement, quelques imperfections que, dans l'intérêt même de l'ouvrage, il convenait de signaler au lecteur. M. Cornu a accepté cette tâche ingrate et il s'en est acquitté de telle manière que l'œuvre n'en éprouve aucune atteinte et en reçoit au contraire une lumière nouvelle.

« Plusieurs notes de M. Potier ont eu pour but de fournir tous les éléments nécessaires à l'intelligence de l'ouvrage, ainsi que les éclaircissements propres à faciliter la lecture des chapitres particulièrement difficiles; d'autres notes sont de véritables mémoires personnels, dans lesquels l'auteur se montre, non le commentateur, mais le continuateur de Maxwell.

« Un appendice inséré à la fin du tome II, offre un résumé très succinct de la théorie des quaternions, dont Maxwell emploie fréquemment quelques notions et formes de calcul.

« M. Gauthier-Villars a entrepris cette publication avec son

zèle et son désintéressement habituels; il a ainsi ajouté aux services déjà si nombreux qu'il a rendus à la science. »

Nécrologie.

Louis Curchod.

Le bureau international des administrations télégraphiques vient de faire la perte profondément regrettable de son directeur, M. Louis Curchod, décédé à Berne, le 18 octobre 1889, à 7 heures du soir, après une longue maladie.

Né à Crissier (Suisse) le 7 octobre 1826, M. Curchod avait terminé ses études à l'École centrale des Arts et Manufactures de Paris d'où il était sorti, en 1849, avec le titre d'ingénieur. Dès cette époque il s'était voué spécialement à la télégraphie et, après une courte participation à une construction de chemin de fer, il avait accepté un emploi d'inspecteur dans l'administration fédérale des télégraphes. Sa brillante intelligence, son ardeur au travail et ses connaissances techniques ne tardèrent pas à le signaler au choix du Conseil fédéral pour les hautes fonctions de directeur central des télégraphes suisses.

C'est en cette qualité qu'il prit part à la préparation des premières conventions télégraphiques internationales conclues d'abord avec les pays limitrophes de la Suisse et bientôt avec la majeure partie des États européens. Chargé de représenter son pays à la conférence télégraphique internationale de Paris, en 1865, il y apporta le fruit de l'expérience qu'il avait acquise en organisant l'administration suisse et rendit les plus grands services dans cette première réunion des chefs des offices télégraphiques de l'Europe, parmi lesquels il prit, dès lors, la place considérable qu'il n'a cessé d'occuper jusqu'à sa mort.

La conférence internationale de Vienne, en 1868, fut pour lui une nouvelle occasion de déployer ses remarquables qualités d'administrateur; l'institution du bureau international

des administrations télégraphiques, dont la haute surveillance était confiée au gouvernement suisse, fut un des résultats des travaux de cette assemblée, et M. Curchod qui avait particulièrement collaboré à la création de ce service nouveau, était naturellement indiqué pour en prendre la direction.

Dans ces fonctions dont il ne se sépara plus que pour remplir pendant quelques temps celles de directeur général de la Société du câble transatlantique français, M. Curchod n'a cessé de consacrer tout son temps et tous ses efforts au service de la télégraphie internationale. Appelé successivement à participer aux travaux des conférences télégraphiques de Rome, en 1871; de Saint-Pétersbourg, en 1875; de Londres, en 1879, et de Berlin, en 1885, il a contribué largement aux progrès réalisés par ces diverses assemblées, en y remplissant avec une rare distinction le rôle de conseil et de conciliateur dans les questions les plus ardues et sur lesquelles les opinions étaient les plus partagées.

Aussi avait-il reçu de nombreux et précieux témoignages de la haute estime dans laquelle le tenaient les gouvernements des pays de l'union télégraphique; il avait été notamment promu au grade de Grand-Officier de l'Ordre de Saint-Stanislas de Russie, de Commandeur de l'Ordre de la Couronne royale de Prusse; d'Officier de la Légion d'honneur; de Commandeur de l'Ordre de la Couronne royale d'Italie; de Grand-Officier de l'Ordre de François-Joseph d'Autriche, etc., etc.

Le vide que cette mort prématurée fait au bureau international des administrations télégraphiques sera difficilement rempli; mais c'est dans la famille du défunt surtout et parmi ses nombreux amis que le deuil est immense. Les qualités intimes de l'homme éminent que nous pleurons étaient de celles qui attachent les cœurs; la sûreté de ses relations, son dévouement, son affable courtoisie et par-dessus tout sa grande modestie, la simplicité de sa vie et son inépuisable bonté lui assurent le souvenir le plus durable parmi ceux qui l'ont connu.

(*Journal télégraphique.*)

20.2.90

Gérant : Ve Dunod. — IMPR. C. MARPON ET E. FLAMMARION, 26, RUE RACINE.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1889 **Novembre - Décembre**

STATIONS TÉLÉPHONIQUES AUTOMATIQUES

Suite (*)

V

Parmi les stations automatiques proprement dites, l'une des premières en date, et qu'il convient de mettre à part parce qu'elle est une solution presque trop complète de la question, est la station Connoly et Mac-Tighe.

Nous la décrirons sommairement, ne croyant pas qu'elle ait été utilisée dans une exploitation téléphonique.

Les organes de ce bureau central automatique sont mis en mouvement à l'aide de courants successifs émis par les piles locales des abonnés. Chaque appareil d'abonné comprend à cet effet une sorte de transmetteur analogue au transmetteur du télégraphe à cadran.

Ce transmetteur consiste éventuellement en une

(*) Voir les numéros de juillet-août et septembre-octobre 1889.

roue dentée mue par un mouvement d'horlogerie et qui, en soulevant un ressort à chaque avance d'une dent, ferme le circuit de ligne qui reste ouvert normalement.

En plaçant une cheville en des points déterminés marqués sur un cadran installé au-dessus de cette

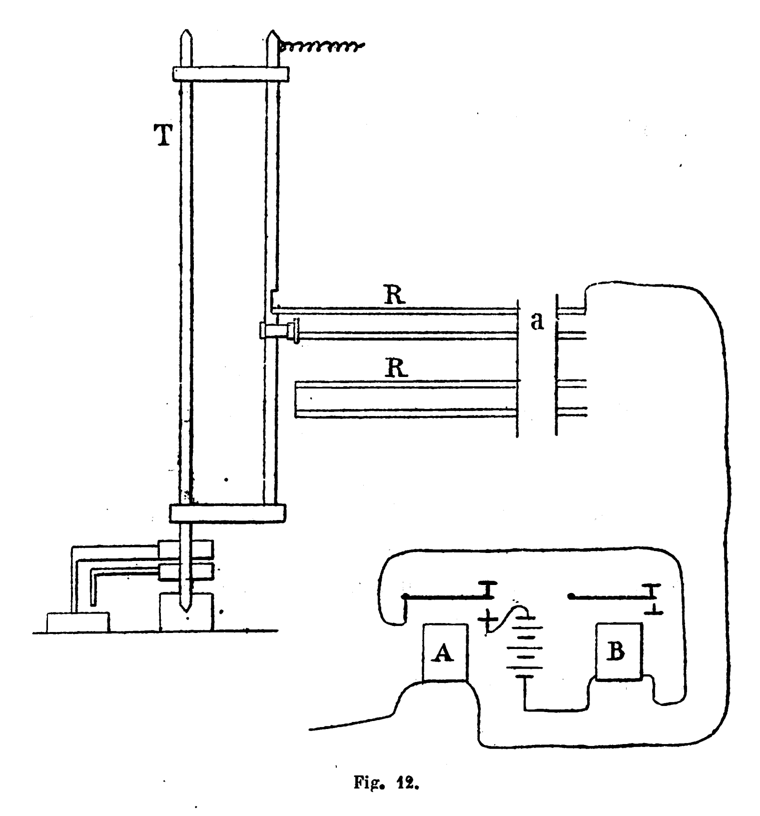


Fig. 12.

roue, l'abonné limite la course de celle-ci et appelle automatiquement un abonné ou l'autre sans avoir à se livrer à une manipulation complexe.

La station automatique proprement dite (*fig.* 12) com-

prend quatre catégories d'organes dont chacun est répété autant de fois qu'il y a d'abonnés desservis par la station. Ces organes sont : 1° des relais A sur lesquels agissent les courants de ligne ; 2° des électro-aimants B actionnés par une pile locale et commandés par les relais A ; 3° des roues R montées sur le même axe vertical *a* et pouvant tourner indépendamment les unes des autres sous l'action des électros B; enfin, une série de tiges verticales T dites *tiges de contact.*

A l'état de repos, la ligne de l'abonné traverse un relai A, puis aboutit à la roue R correspondante et à la terre par l'intermédiaire de l'axe supportant la roue R.

A chaque émission de courant du manipulateur, le relai A ferme le circuit de l'électroaimant B, et celui-ci fait avancer d'un certain angle la roue R. On conçoit donc qu'on puisse à volonté amener au point déterminé de cette roue en regard d'une quelconque des tiges T de contact qui l'entourent.

En même temps, chaque fois qu'un bras porté par la roue passe devant une tige, celui-ci coupe la communication établie entre la roue et la terre par l'intermédiaire de l'axe et y substitue une communication avec la tige.

Si nous supposons que chacune de ces tiges soit en communication comme les roues avec chacune des lignes d'abonnés, on voit qu'en amenant au contact une roue et une tige convenablement choisies, on établira la communication entre deux quelconques des abonnés.

Des dispositifs spéciaux permettent, en outre, d'empêcher qu'une tige déjà en communication avec une première roue ne puisse être mise en relation avec une

seconde, et d'une manière générale que deux abonnés reliés entre eux ne puissent être dérangés.

L'appareil est fort ingénieux. Mais il montre immédiatement combien en voulant faire exécuter autant de mouvements divers par un seul appareil, on s'expose à en multiplier les organes. Bien qu'il ait fonctionné à l'Exposition de 1881, on ne pourrait compter que ce fonctionnement présente une sécurité suffisante pour un service normal. Il n'y a, de plus, aucun moyen de vérifier si des ratés se produisent dans la manœuvre des roues. Beaucoup de dérangements peuvent enfin surgir par suite de l'oubli des abonnés de replacer au repos les chevilles servant à l'appel.

De plus, et c'est le point important, l'appareil supprime entièrement le rôle de la station centrale, les abonnés pourvoyant eux-mêmes à leur mise en communication. Il répond donc à une solution théorique trop complète pour ainsi dire.

En fait, l'office réclamé d'une station automatique est à la fois moins complexe et plus abordable.

Il est, en effet, nécessaire, dans l'intérêt d'une bonne exploitation, que le bureau central prenne une part effective aux mises en communication et que celles-ci ne soient effectuées que par son aide ou sous son contrôle.

On peut donc a priori, au lieu de mettre une égale complexité dans chaque poste d'abonné, ainsi que cela a lieu dans l'appareil Mac-Tighe et Connolly, supposer un seul d'entre eux, celui de la station centrale, dans ces conditions et simplifier tous les autres.

Le principal type de solution, auquel peuvent se ramener un assez grand nombre des appareils inventés jusqu'à ce jour est alors le suivant :

Chaque ligne d'abonné *l* aboutit à un relai polarisé R (*fig.* 13) placé à la station automatique. Le jeu de ce relai est tel qu'il établit la communication de cette ligne *l* avec la terre, lorsque l'armature est au butoir

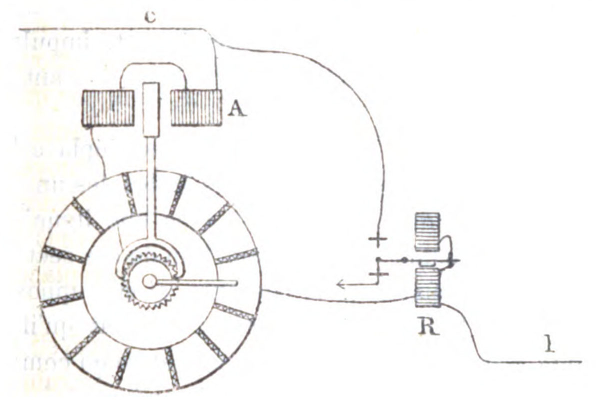


Fig. 13.

de repos, et avec la ligne *c* reliant la station automatique au bureau central, lorsqu'elle est au butoir de travail.

Supposons que l'abonné possède deux boutons d'appel de manière à envoyer à volonté sur la ligne soit un courant positif, soit un courant négatif.

Pour se mettre en relation avec la station centrale, il lui suffira d'appuyer sur l'un d'eux de manière à faire passer l'armature du relai du butoir de repos au butoir de travail; lorsqu'il aura cessé de parler, en pressant sur le second bouton d'appel, il ramènera l'armature au repos et, par suite, les choses en l'état primitif.

Pour permettre au bureau central d'appeler les abonnés, on dispose à la station automatique une aiguille se déplaçant sur un cercle, sous l'action di-

recte ou indirecte d'un électro-aimant A auquel aboutit la ligne *c*. Dans le premier cas, l'électro-aimant commande lui-même des ressorts actionnant une roue à rochet qui entraîne l'aiguille. Dans le second, un mouvement d'horlogerie tend constamment à faire tourner l'aiguille, et celle-ci ne peut céder à cette impulsion qu'au moment où l'armature de l'électro-aimant est attirée.

Supposons que le cercle sur lequel se déplace l'aiguille soit formé de divers secteurs isolés les uns des autres et communiquant chacun avec une ligne d'abonné : en amenant l'aiguille sur l'un de ces secteurs par une série d'émission de courants, et en supposant celle-ci en relation avec la ligne *c*, on voit qu'il est possible à la station centrale de se mettre en communication avec l'un quelconque des abonnés.

Ce principe de solution suppose évidemment qu'on devra prendre des dispositions de nature à contrôler les mouvements de l'aiguille et à éviter qu'un abonné ne vienne se placer indûment sur la ligne *c* lorsqu'une communication est en cours.

Il permet dans une certaine mesure d'établir une communication entre deux des lignes *l*, la ligne *c* demeurant en dérivation.

C'est à lui qu'il y a lieu de rapporter les appareils de MM. Leduc, Bartelous, Paul, Cedergren et Ericson; les parties de détail étant dans chacun très différemment traitées, et toujours avec une grande ingéniosité, il convient de les passer tous en revue.

L'appareil Leduc se compose d'un axe *a* portant une roue dentée R et tendant à tourner dans un sens déterminé, sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. Un échappement à ancre, commandé par un électro-

aimant E (*fig.* 14) règle les mouvements de cet axe, en ne permettant que le passage d'une dent, chaque fois qu'un courant est envoyé par la station centrale dans l'électro.

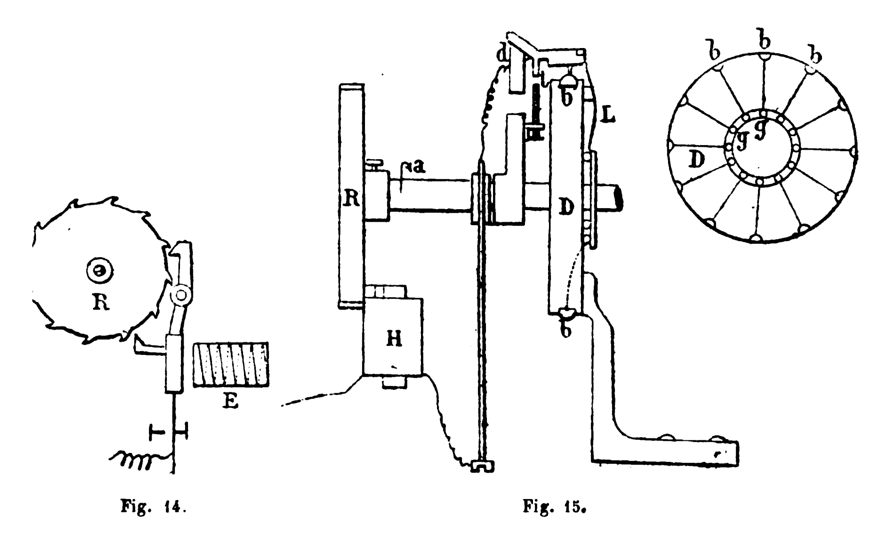


Fig. 14. Fig. 15.

Sur cet axe *a* est monté un disque d'ébonite D sur la circonférence duquel sont installées des touches métalliques *b*, *b* (*fig.* 15) en nombre égal à celui des dents de R.

Le même axe porte une tige terminée par un doigt de contact isolé *d* maintenu baissé par un ressort. Chaque fois que l'extrémité de ce doigt rencontre une des touches placées sur la roue D, elle se soulève et interrompt la communication établie normalement en *t* entre la ligne et le massif de l'appareil.

Les lignes des abonnés desservis aboutissent chacune à l'une des touches de D ainsi qu'à un ressort *g* placé vers le centre de ce disque. Lorsque l'appareil est au repos, le doigt *d* repose sur une touche spé-

ciale, pousse par suite un levier L qui fait appuyer une plaque métallique sur tous les ressorts *g*. Le contact *t* est rompu. Toutes les lignes des abonnés communiquent entre elles et avec la ligne du bureau central. Un abonné peut donc sonner la station centrale. Lorsque celle-ci veut répondre, elle envoie sur la ligne une série successive de courants de même sens, positifs par exemple, à l'aide d'un manipulateur circulaire facile à imaginer. Chacun de ces courants provoque le passage d'une dent de la roue R et, par suite, le passage d'une des touches de *b* sous l'extrémité du doigt *d*. On amène ainsi à volonté la touche de l'abonné auquel on veut répondre sous le doigt *d*. La ligne de l'abonné en question communique alors avec celle de la station centrale, tandis que toutes les autres lignes en demeurent isolées et la communication voulue est établie.

Il est nécessaire pour qu'un tel appareil marche normalement de pouvoir toujours faire partir la roue R, ainsi que le disque, d'une même position initiale. C'est dans cette intention qu'on intercale sur la ligne principale un électro-aimant Hughes H, sensible seulement, dans le cas supposé, aux courants négatifs. La roue R porte, en outre, un butoir venant se heurter dans la position de repos à l'armature de cet électro. Avant d'envoyer les courants nécessaires à la manœuvre du disque, l'employé envoie un courant négatif permettant au butoir d'être dégagé. Lorsque la communication est terminée, il envoie de nouveau une série de courants positifs en plus grand nombre qu'il n'est théoriquement nécessaire pour prévenir les ratés qui se seraient produits. Il est alors certain que la roue R sera revenue à la position voulue, grâce au

butoir et à l'armature de l'électro-aimant Hughes revenue elle-même à sa position initiale.

Dans l'appareil Leduc, on voit que le nombre des relais est réduit au minimum. Toutefois, si l'on veut faire communiquer entre eux deux abonnés desservis par la station automatique, on ne peut y arriver qu'en opérant de la façon suivante : les avertir préalablement l'un et l'autre, et ramener la station au repos ; dans ce cas, les deux abonnés en question ne sont pas seulement mis en relation entre eux, mais encore avec tous les autres, par l'intermédiaire de la plaque appuyant sur les ressorts *g ;* le secret des conversations n'est plus garanti. M. Leduc a, du reste, cherché depuis à éviter cet inconvénient.

De plus, toutes les lignes d'abonnés sont laissées à la position de repos, en relation avec la ligne du poste central, et pour qu'un appel d'abonné puisse normalement arriver, il est nécessaire que chacune de lignes ait une résistance beaucoup supérieure à celle du poste central. En fait, c'est toujours l'inverse qui a lieu, d'où la nécessité d'ajouter des résistances à chaque poste d'abonné.

L'appareil Bartelous, tout en desservant un nombre d'abonnés presque exagéré, 25, présente une apparente simplicité de construction qui le rend également intéressant.

Il se compose d'un disque métallique percé d'une ouverture à son centre et sur l'une des faces duquel existe une couronne circulaire *b* formant saillie en forme de lame de couteau (*fig.* 16).

Des ressorts-lame *f*, *g* montés sur le disque et isolés électriquement de celui-ci en leur point d'encastrement, viennent au repos se poser sur cette saillie.

Chacun de ces ressorts communique par son extrémité fixe avec la ligne d'un abonné. L'autre extrémité est munie d'une fourchette à deux branches *g*.

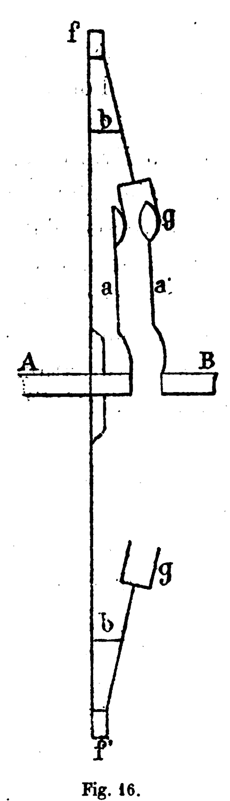


Fig. 16.

Au centre du disque et perpendiculairement à ses deux faces existent deux axes A et B portant l'un et l'autre une aiguille métallique *a a'*. Chacun de ses axes et, par suite, chaque aiguille peut recevoir un mouvement de rotation par impulsions successives à l'aide d'un électro-aimant commandant une roue à rochet. Un relai polarisé d'une forme spéciale, et que nous décrirons plus loin, est placé à l'entrée de la station automatique et permet de diriger à volonté sur l'un ou l'autre des deux électro-aimants le courant d'une pile locale.

A chaque impulsion donnée à l'un des axes A ou B, l'aiguille correspondante vient rencontrer l'une des branches de la fourchette qui arme les lames-ressorts et soulève celle-ci au-dessus du contact circulaire *b*.

Quatre lignes réunissent l'appareil à la station centrale : 1° la première communique au manipulateur d'une part et au relai d'autre part ; 2° la seconde, dite ligne d'appel *cc* relie le bureau au massif du disque ; 3° deux autres réunissent le bureau avec l'un et l'autre des deux axes A et B.

Lorsqu'un abonné envoie un courant d'appel, celui-ci arrive au disque par la lame-ressort correspondant à sa ligne et qui, étant au repos, communique avec *b*. Le courant trouve alors plusieurs routes et peut aller soit à la station centrale, soit chez l'un quelconque des autres abonnés. Mais chaque poste d'abonné comporte, comme dans l'appareil Leduc, des résistances additionnelles telles que la ligne d'appel *cc* tout en possédant, en fait, la plus grande longueur, soit cependant la moins résistante. Ces résistances sont d'ailleurs disposées de telle façon qu'elles interviennent seulement lorsque les postes sont au repos. La simple manœuvre de l'appel ou du commutateur automatique les met hors circuit. Le courant d'appel parvient donc en majeure partie à la station centrale qui est ainsi avertie, à l'exclusion des autres abonnés.

Pour répondre et causer avec l'abonné, le poste central n'a qu'à amener l'aiguille de l'axe A, par exemple, sous la lame-ressort convenable. Cette manœuvre s'opère à l'aide d'une série d'envois de courants de sens convenable dans le relais d'entrée de la station. La lame-ressort est alors soulevée et la ligne de l'abonné cessant d'être en contact avec le massif communique par l'intermédiaire de l'aiguille à la ligne reliant l'axe A au poste central.

Semblablement, un deuxième abonné peut être mis en relation avec le poste central par l'intermédiaire de l'aiguille *a'* et de l'axe B. En bouclant les deux lignes à la station centrale, on peut donc mettre deux abonnés en communication sans qu'un quelconque des autres abonnés cesse de pouvoir appeler et causer s'il le veut avec le bureau central.

Le contrôle de la position des aiguilles s'exerce de la manière suivante :

En sus des vingt-cinq lames-ressorts correspondant aux vingt-cinq abonnés, deux autres lames sont fixées sur le disque. Ces lames c, c' (*fig.* 17) communiquent électriquement avec lui et ne supportent qu'une demi-fourche, de façon que l'une puisse être soulevée par l'aiguille a seulement, et l'autre par l'aiguille a'.

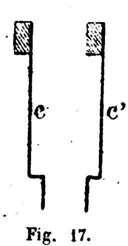


Fig. 17.

Supposons, dès lors, sur la ligne aboutissant à l'axe A, par exemple, une pile et un galvanomètre intercalés au bureau central, et imaginons qu'on fasse tourner l'aiguille a; lorsque le courant cessera de passer, nous serons certains que l'aiguille a est en regard de la demi-fourche qu'elle ne peut rencontrer. On repère donc sans difficulté la position de l'aiguille. Ces deux lames supplémentaires permettent, en outre, de prendre si l'on veut l'une des lignes aboutissant à l'axe A ou à l'axe B comme ligne d'appel, dans le cas où cette dernière présenterait une rupture.

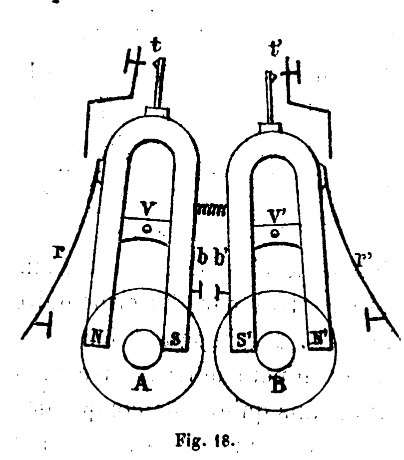


Fig. 18.

Nous avons dit plus haut qu'un relai spécial placé à l'entrée du poste permettait, à volonté, de faire fonctionner l'un ou l'autre des électros commandant les aiguilles.

Ce relai, représenté *fig.* 18, est aussi robuste que

possible, de manière à en assurer d'une manière complète le fonctionnement. Il se compose essentiellement d'un électro-aimant horizontal AB. En regard de ses deux extrémités, deux aimants permanents mobiles autour de tourillons v et v' dirigent, suivant qu'ils établissent le contact en t ou t', le courant de la pile locale sur l'électro-aimant de l'aiguille a ou sur celui de l'aiguille a'.

Supposons, par exemple, que le sens du courant envoyé en AB soit tel qu'il développe en A un pôle négatif et en B un pôle positif, le contact s'établira en t tandis que l'aimant N′, S′, sera lui-même buté en b' contre un arrêt, l'action directrice de A étant encore accrue, par l'effet d'un ressort à boudin reliant entre eux NS et N′S′.

L'appareil Bartelous est intéressant par la simplicité de ses organes; mais ce serait sans doute se hasarder de penser qu'il entrera jamais dans l'application courante. Il nécessite, en effet, au minimum trois fils. Pour qu'il y ait économie dans son emploi, il faut donc desservir avec lui un nombre considérable d'abonnés. L'auteur l'a si bien compris qu'il a fixé ce nombre au chiffre très élevé de vingt-cinq. Mais en multipliant ainsi les abonnés desservis, il a rendu du même coup la manœuvre de son appareil très lente.

On a vu précédemment que le système de la pendule avait dû être abandonné par suite du peu de rapidité des appels. Il en est de même ici. Il faut treize fois plus de temps pour appeler l'abonné n° 13 que pour appeler l'abonné n° 1. Même en admettant une manipulation rapide, on ne saurait évidemment aller au delà d'une limite de vitesse déterminée sous peine de multiplier les ratés.

Nous voyons, en revanche, une condition nouvelle satisfaite par l'appareil Bartelous, condition qui, sans être d'une absolue nécessité, est au moins d'utilité incontestable. L'abonné peut encore appeler la station centrale et causer avec elle, lorsqu'un autre abonné du même groupe possède déjà une communication.

D'une manière générale, et quelque soit le système, il paraît dangereux d'accroître au delà d'un chiffre assez restreint, six ou huit, le nombre des abonnés desservis par une station automatique. C'est peut-être pour avoir simplifié ainsi le problème que les compagnies suédoises ont, jusqu'ici, réussi seules dans la tentative de ce mode d'exploitation.

L'appareil suédois, dû à MM. Cedergren et Ericson, de même que l'appareil de M. A.-L. Paul, très analogue, — nous ne discuterons pas ici la question de priorité, — comporte un organe nouveau sous forme de galvanoscope à aiguille très lourde, placé à l'entrée du poste.

Cette aiguille, dont les mouvements sont encore ralentis par la présence d'un fort aimant directeur, est constamment en communication avec la terre et oscille entre deux butoirs reliés chacun à un électro-aimant M ou M_1 placé en dérivation sur la ligne (*fig.* 19).

Une autre aiguille V établit au repos une communication entre cinq butoirs métalliques α, β, γ, δ, ε, reliés chacun respectivement au circuit *m* d'un relai I, II, etc. Elle communique en même temps d'une manière permanente avec les cinq armatures de ces relais. Toutes les fois que l'électro-aimant M fonctionne, cette aiguille V se déplace d'une division et se met successivement en relation avec cinq nouveaux con-

tacts, 1, 2, 3, 4, 5, aboutissant chacun à un des cinq postes d'abonnés desservis.

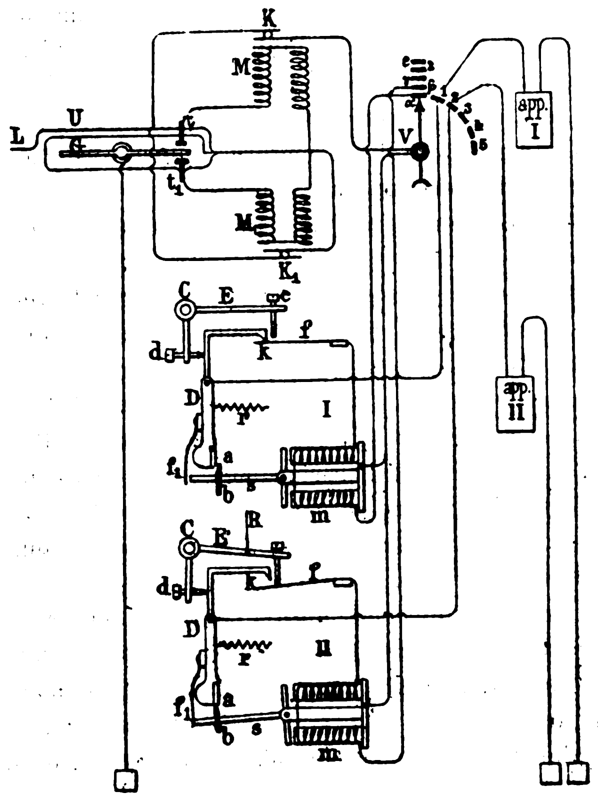


Fig. 19.

Le simple jeu de l'armature de l'électro-aimant M_1 ramène au repos cette aiguille V, quelle que soit d'ailleurs sa position occupée au moment du rappel.

L'armature de chaque relai commande deux leviers D et C qui peuvent occuper, par rapport à elle, trois positions diverses. Deux d'entre elles sont représentées sur la figure en I (position de repos) et II (appel

par l'abonné). Tous les leviers C sont montés sur un axe commun et ramenés à la position de repos en même temps que V par le jeu de l'électro-aimant M_1.

Les leviers D peuvent établir une communication soit en *k* entre la ligne de l'abonné et les bobines du relai, soit en f_1, entre cette même ligne et l'aiguille V par l'intermédiaire de l'armature. Enfin (troisième position) dans certains cas, les ressorts f et f_1 étant écartés de leurs butées[1], la ligne de l'abonné peut rester isolée.

Ceci posé, supposons que la station centrale veuille appeler l'abonné I, elle envoie sur la ligne un courant positif. Ce courant, arrivé en L, traverse le galvanoscope, passe par les contacts K et K_1, arrive en V et de là, par les cinq relais, se rend aux cinq postes d'abonnés. Les relais n'étant sensibles qu'au passage de courants alternatifs, ne fonctionnent pas; les sonneries d'abonnés non plus. En effet, dès que le courant a passé par le galvanoscope, celui-ci s'est mis en mouvement et est venu buter contre le butoir *t*. Le courant trouve aussitôt un chemin moins résistant à travers M, *t*, l'aiguille et la terre. L'électro-aimant M fonctionne, et l'aiguille V vient se placer sur 1. Elle n'a plus de communication qu'avec le poste I, et si le poste central envoie un appel à l'aide d'un générateur magnéto-électrique, l'abonné I sera seul à le recevoir.

S'il s'était agi d'appeler l'abonné III, le poste central aurait envoyé successivement trois courants positifs, qui, chacun, auraient fait fonctionner une fois l'électro-aimant M et amené par conséquent l'aiguille V sur le contact 3.

Supposons maintenant que l'abonné II, par exemple, veuille appeler la station centrale.

A l'aide d'un générateur magnéto-électrique, il envoie une série de courants alternatifs sur sa ligne. Ces courants, parvenus en 2, viennent en D. Ce levier étant encore à la position de repos, le ressort f_1 est écarté de l'armature, tandis que le ressort f est appliqué contre son contact k. Les courants émis passent donc par k, le relai II, l'aiguille V supposée au repos, les contacts K et K_1, le galvanoscope et la ligne L. L'aiguille du galvanoscope n'est d'ailleurs pas influencée, grâce à la lenteur de ses oscillations.

Le relai II fonctionne aussitôt. L'armature attirée permet au levier D d'échapper à la butée a. Celui-ci fait basculer simultanément tous les leviers C, solidaires les uns des autres, comme il a été dit plus haut.

Au relai II le contact k est alors rompu en même temps qu'il s'établit en f_1. Les courants d'appel de l'abonné passent directement par l'armature V et la ligne L; dans tous les autres relais, les contacts k et f_1 sont rompus; aucun abonné autre que II ne peut plus communiquer avec la ligne.

Lorsque la conversation est terminée, il suffit à la station centrale d'envoyer un courant négatif qui fait buter l'aiguille du galvanoscope contre t', fait fonctionner l'électro-aimant M_1 et ramène à la fois l'aiguille V et tous les leviers C à leur position de repos.

L'appareil permet aussi d'établir une communication entre deux quelconques des abonnés desservis par la station automatique. Pour y arriver, l'abonné II, par exemple, ayant appelé la station centrale pour lui demander l'abonné V, celle-ci se contente d'amener l'aiguille V sur la borne 5; la communication est établie, la station centrale restant en dérivation sur la ligne.

On voit, en effet, que les courants envoyés par II arrivent dans ce cas en 2, puis à l'aiguille V par le levier D, l'armature du relai II. En V, ils trouvent deux chemins : l'un vers le poste de l'abonné V, par le contact 5; l'autre vers la station centrale, par K, K_1, le galvanoscope et L.

Tel est l'appareil suédois. On l'a utilisé dans le service de Stockholm et à Genêve. Son fonctionnement paraît donner prise à peu de critiques et est satisfaisant. On ne saurait nier qu'il ne soit d'une grande ingéniosité.

Les dimensions, très réduites, permettent de l'installer commodément; il n'exige pas de pile spéciale, aucun outillage particulier en dehors du mécanisme lui-même.

Il serait difficile, cependant, de méconnaître qu'il entraîne la nécessité d'une continuelle surveillance. Le nombre des contacts ne s'y élève pas à moins de 19. Il faut, de plus, entretenir une pile considérable au poste central pour assurer le parfait fonctionnement des électro-aimants M et M', dont le travail mécanique est considérable. On n'a, enfin, aucun moyen de contrôle permettant de s'assurer que l'aiguille V obéit toujours régulièrement à l'impulsion de l'électro-aimant M.

Dans ces conditions, nous croyons que cet appareil peut rendre de réels services dans un réseau urbain, mais qu'il serait dangereux de l'utiliser pour une exploitation suburbaine.

Dans le premier cas, en effet, le déplacement d'un agent spécial chargé de la surveillance des appareils ne présente pas de difficultés. Dans le second, au contraire, tout contrôle devient peu aisé, et l'on risquerait

de s'exposer à des mécomptes. C'est, du reste, de cette façon qu'on l'a utilisé en Suède et en Suisse. L'économie de fils réalisée, grâce à ce système, est considérable. A Stockholm, en 1888, l'emploi de l'appareil double et quintuple permettait ainsi de desservir 3.730 abonnés avec 3.000 fils seulement, les fils de réserve étant compris.

(*A suivre.*) E. ESTAUNIÉ.

ÉLECTRODYNAMOMÈTRE

SERVANT A MESURER LES COURANTS TÉLÉPHONIQUES (*)



L'idée mise en avant par Bellati de remplacer la bobine mobile d'un électro-dynamomètre par un cylindre composé de fils de fer recuit, a permis de construire le dynamomètre d'une manière beaucoup plus simple et d'augmenter fortement sa sensibilité. Les communications métalliques qui, habituellement, amènent le courant à la bobine mobile, disparaissent entièrement, et l'on n'a plus qu'une suspension bifilaire en fils de cocon.

L'intérêt avec lequel on a accueilli le dynamomètre construit par M. Giltay sur le principe de Bellati, il y a plus de trois ans, l'a conduit à chercher les modifications qu'on pouvait apporter à la construction de cet appareil.

On a voulu, par différentes améliorations, rendre cet instrument d'un usage plus commode et d'un maniement plus facile. Le nouvel appareil est entièrement construit en métal et en verre. Le tube en verre qui supporte les fils de cocon est pourvu d'un cercle de torsion divisé de 5 en 5 degrés. Le cadre de la bobine présente à la partie supérieure une plaque en métal argenté, qui porte également des divisions de 5 en 5 degrés. Un index en aluminium se meut au-dessus de

(*) *Annales télégraphiques*, 3, t. XII, 1885, p. 355.

cette plaque ainsi divisée. A la partie inférieure de l'instrument est vissé un récipient qui permet d'employer un amortisseur à liquide.

L'appareil doit être placé de façon que le plan des spires fasse un angle de 45 degrés avec le méridien magnétique, et que le cylindre en fer soit perpendiculaire à ce méridien.

Le multiplicateur est divisé en deux parties qui, au moyen de quatre bornes, peuvent être combinées à volonté, soit en dérivation, soit en série. Dans le premier cas, la résistance est d'environ 125 ohms; dans le deuxième de 500 ohms.

L'instrument est disposé de manière à pouvoir servir, soit pour une lecture à la lunette avec un miroir plan de 2 centimètres de diamètre, soit avec une source lumineuse et un miroir concave de 1 centimètre de diamètre, ayant 50 centimètres de distance focale.

M. Giltay, pour faire juger de la sensibilité de l'instrument, cite les expériences suivantes, dans lesquelles la lunette ainsi que l'échelle étaient éloignées du miroir de $3^{m},6$. On a parlé doucement dans un téléphone de Siemens, mis en communication avec le dynamomètre. Dans ces conditions, on eût une première impulsion de 180 millimètres.

L'on fit entendre doucement un O dans le téléphone, et la déviation dépassa les limites de l'échelle.

Une simple pression sur la membrane en fer du téléphone donna une impulsion de 150 millimètres.

En prononçant fortement un O dans le téléphone, on arrivait même à communiquer à l'équipage mobile des oscillations de 360 degrés.

Un microphone Blake fut mis en communication avec un élément Leclanché et avec le circuit primaire d'une

petite bobine d'induction. Le dynamomètre fut rattaché au circuit secondaire. On parla ensuite à 30 ou 40 centimètres de la membrane du microphone; on obtint une impulsion de 48 millimètres.

Dans ces expériences, on émettait un son d'une durée un peu plus longue que la moitié de la durée de l'oscillation du système.

COMMUNICATION TÉLÉPHONIQUE

ENTRE PARIS ET LONDRES (*)

(Mémoire lu devant l'Association britannique, section A, à Newcastle on Tyne, en septembre 1889)

Par M. William Henry PREECE, F. R. S.

La possibilité de parler par le téléphone entre Londres et Paris a été examinée récemment avec beaucoup de soin par les électriciens français et anglais. La distance entre les deux stations est de 275 milles (443^{km}), savoir : 74 milles (119^{km}) entre Londres et Douvres, 21 milles (34^{km}) de Douvres à Calais, et 180 milles (290^{km}) de Calais à Paris. Il est très facile de parler à une telle distance, si les fils sont aériens et formés de cuivre de fort diamètre; mais l'introduction de fils souterrains à chaque extrémité de la ligne et celle d'un câble au milieu, met des difficultés à la traverse qui ont dû être surmontées. Ce n'est pas une question d'appareils, c'est seulement la répartition de la résistance électrique et de la capacité des différentes sections de la ligne, et de la contexture et de la matière des fils.

(*) Le projet d'établissement d'une communication téléphonique entre Paris et Londres a donné lieu à plusieurs expériences très intéressantes faites par M. Amiot, inspecteur principal du contrôle, et, sous sa direction, par M. l'ingénieur Cailho. L'une de ces expériences a été décrite dans le numéro de septembre-octobre dernier, p. 409. En attendant que des renseignements plus complets puissent être fournis à ce sujet, nous croyons intéressant de reproduire la note ci-dessus de M. Preece. (*N. de la R.*)

La conversation due au mouvement des affaires se soutient toujours entre Paris et Bruxelles (190 milles = 306^{km}), Paris et Lille (158 milles = 254^{km}), Paris et Rouen (80 milles = 123^{km}), Paris et le Havre (135 milles = 217^{km}), et Paris, Lyon et Marseille, cette dernière ville étant éloignée de près de 600 milles (965^{km}); dans tous ces cas les conducteurs sont des fils aériens, sauf sur une courte longueur (2 milles = 3^{km},2 environ), où il y a des fils souterrains dans Paris.

L'auteur a fait des expériences sur les câbles posés entre Douvres et Calais, entre Holyhead et Dublin, et entre South Wales et Wexford. Les conditions à remplir sont très simples. Le circuit doit être métallique et formé de cuivre, et le produit de la résistance de la ligne, R, par sa capacité, K, ne doit pas dépasser un certain nombre. On a déterminé grossièrement et par l'expérience que quand :

KR	= 15.000,	la conversation	devient	impossible;
	= 12.500	»	»	possible;
	= 10.000	»	»	bonne;
	= 7.500	»	»	très bonne;
	= 5.000	»	»	excellente;
	= 2.500	ou au-dessous, la conversation devient parfaite.		

Nous avons ainsi une sorte de règle de *Baufoy* appliquée à la communication téléphonique.

On a constitué avec un câble artificiel un circuit se rapprochant autant que possible de celui entre Paris et Londres, et il se trouva qu'il répondait à ces exigences.

On forma alors un circuit réel depuis Worcester, en utilisant 27 milles (44^{km}) du réseau souterrain de

Londres à Baldock, sur le Great Northern Railway, dans des conditions électriques semblables et on obtint le même résultat.

On peut admettre comme absolument établi que la conversation est possible entre Londres et Paris.

Aux États-Unis, la correspondance téléphonique se maintient entre New-York et Boston (350 milles = 563^{km}), et dans beaucoup de cas, à des distances qui dépassent celle de Londres à Paris; mais on n'a pas eu à surmonter les difficultés créées par la présence de sections souterraines aux extrémités du conducteur et d'un câble au milieu de la ligne.

(Traduit de l'anglais par M. A. Perrin.)

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

LE PHONOPORE

Le phonopore exposé par M. Langdon Davies rentre dans la catégorie des appareils de télégraphie harmonique. Des vibrateurs accordés par couples et fonctionnant uniquement sous l'action de courants induits, sont embrochés sur la ligne qui peut servir en même temps aux transmissions télégraphiques ordinaires.

La *fig.* 1 montre un poste phonoporique simple composé du transmetteur et du récepteur phonoporiques et d'un poste Morse complet.

Le transmetteur est constitué par une bobine d'induction qui possède un circuit primaire et deux circuits secondaires. Le circuit primaire *bb'* (*fig.* 1) est formé par 14 fils réunis en quantité et enroulés autour d'un barreau d'acier; ses deux extrémités sont reliées respectivement à la lame vibrante *ll'* et à un pôle Z d'une pile dont l'autre pôle C communique avec une clef Morse. Le circuit secondaire n'est autre chose que la *bobine phonoporique*, formée de deux fils enroulés isolément sur une longueur de 100 mètres et enroulés ensemble sur la longueur restante (450^m). L'un de ces fils a une extrémité isolée et l'autre L en communication avec la ligne à travers l'électro-aimant du récepteur monté en différentiel. Le deuxième fil a éga-

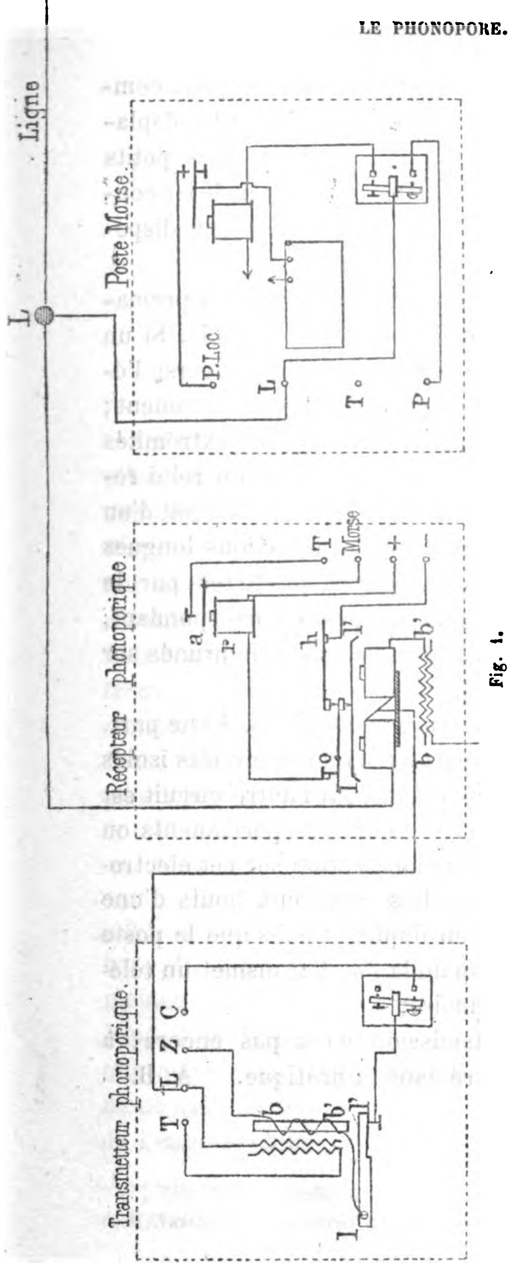
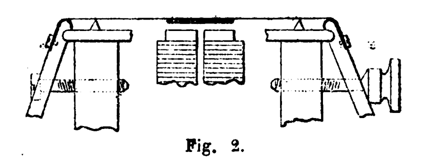


Fig. 1.

lement un bout isolé et l'autre en communication avec le sol T.

Le récepteur est formé d'un électro-aimant polarisé à deux bobines, dont les pièces polaires sont très rapprochées, et dont l'armature est constituée par une lame d'acier *ll'* reposant sur deux petits chevalets. Elle est fixée par ses extrémités à deux pièces métalliques, dont l'une est fixe et l'autre peut être déplacée à l'aide d'un bouton de serrage, comme l'indique la *fig.* 2. Au-dessus de *ll'* se trouve l'extrémité d'un levier mobile, autour du point O, sur lequel s'appuie un ressort fixé en *h* (*fig.* 1). Les axes *o* et *h* sont suspendus à des étriers en laiton qui sont

mobiles dans des glissières et auxquels on peut communiquer des déplacements très petits au moyen de vis convenablement disposées.


Fig. 2.

L'armature du relai *r* est ainsi attirée en permanence par l'effet du courant de la pile locale. Si un courant vibratoire de période convenable traverse l'électro-aimant, l'armature-lame *ll'* vibrera fortement; les contacts actuellement établis aux deux extrémités du levier O seront altérés, l'armature *a* du relai reviendra à sa position de repos et fermera le circuit d'un récepteur Morse. De sorte que des émissions longues ou brèves de courants vibratoires, produites par le transmetteur phonoporique du poste correspondant, seront transformées en traits ou points imprimés sur la bande d'un appareil Morse.

L'électro-aimant récepteur communique, d'une part, avec la ligne, et d'autre part avec un des circuits isolés d'une *bobine phonoporique bb'*, dont l'autre circuit est à la terre. De cette façon, les courants permanents ou à variations lentes n'ont aucune action sur cet électro-aimant. Deux postes installés aux deux bouts d'une ligne peuvent travailler en duplex, tandis que le poste Morse indiqué à la droite de la *fig.* 1 transmet un télégramme à la façon ordinaire.

Ce système de transmission n'est pas encore, à notre connaissance, entré dans la pratique. A. B.

SUR

LA FORCE ÉLECTROMOTRICE DES PILES

Par MM. P. CROUSTCHOFF et A. SITNIKOFF (*)

La mesure directe de la force électromotrice des piles ne donne qu'exceptionnellement des nombres concordants avec la valeur de cette force, calculée d'après les données thermochimiques de la réaction qui accompagne le travail de la pile. Il est bien connu, d'autre part, que le théorème de Thomson, dont on fait usage pour le calcul de la force électromotrice, se trouve être vrai, si on le modifie conformément à une considération thermodynamique, due à M. Helmholtz. Cette modification du théorème de Thomson, qu'on peut alors mettre sous la forme

$$E = 0{,}043\,C \pm T \frac{dE}{dT}$$

(où $C =$ chaleur de la réaction, $E =$ force électromotrice de la pile), étant rigoureusement exacte, a été pleinement confirmée par des expériences ultérieures. Mais, étant l'expression d'une relation très générale, elle admet des interprétations différentes du phénomène qui concourt à entraver la transformation totale de l'énergie chimique en énergie du courant. Ainsi, on

(*) Voir, dans le numéro de Septembre-Octobre 1889, page 461, une note de M. Vaschy, qui peut servir d'introduction à celle-ci.

peut supposer que l'énergie chimique n'est en général que partiellement transformée en énergie électrique : une partie seulement de l'énergie chimique présente serait *libre*, tandis que le reste ne pourrait être transformé qu'en chaleur, les deux parties de l'énergie chimique formant des catégories bien distinctes. Ce point de vue a été exposé par M. Braun, indépendamment de la théorie de M. Helmholtz. D'autre part, on peut chercher l'existence de phénomènes réels, intimement liés à la production du courant par les piles, phénomènes dont le rôle reviendrait à contrecarrer la transformation intégrale de l'énergie chimique; ces phénomènes secondaires pourraient modifier « l'effet utile » de l'énergie chimique, dont une partie seulement serait « libre », mais cette fois-ci par rapport au résultat définitif. En chimie générale, ces deux modes d'interprétation amènent à des conclusions opposées : le premier tendrait à assigner une double origine à la chaleur des réactions, dont une part correspondrait au potentiel chimique, lequel à son tour ne pourrait être déduit des données de la thermochimie qu'à l'aide de « coefficients d'effet utile », tirés de la valeur des forces électromotrices; le second n'introduirait pas cette distinction absolue de la partie transformable de l'énergie chimique et ramènerait les différences observées à des complications secondaires.

En examinant les mémoires publiés au sujet de cette question, nous avons été arrêtés par les considérations suivantes. On sait qu'il se produit au surface de contact des métaux et des liquides d'une pile, traversée par un courant, un phénomène thermo-électrique, dit *de Peltier;* l'énergie produite ou absorbée, par le phénomène de Peltier, pouvant jouer le rôle de chaleur

secondaire, il est évident qu'on est conduit à en rechercher la valeur numérique pour la comparer au terme $\pm T \frac{dE}{dT}$ de l'équation de M. Helmholtz. Un physicien allemand, M. Gockel, a exécuté il y a quelques années une pareille comparaison pour une série de piles ; cette recherche lui a donné un résultat négatif pour la concordance de la valeur absolue de l'effet Peltier et du terme $\pm T \frac{dE}{dT}$, quoiqu'elle établissait une coïncidence pour le signe de l'énergie. Mais les seules différences importantes qu'il observa se rapportaient à des piles aux sels de mercure, pour lesquelles il fit usage des données thermochimiques de M. Thomsen. En calculant ses résultats avec les données nouvelles (Nernst, 1886), nous avons été frappés de l'accord entre les forces électromotrices observées et celles qu'on peut calculer en tenant compte de l'effet Peltier. Cette remarque nous a engagés à entreprendre quelques mesures de forces électromotrices, dont nous nous permettons de donner un résumé.

La chaleur due au phénomène de Peltier peut être représentée par un terme $T \frac{dE}{dT}$ (en mesure mécanique), où E indique la force thermo-électromotrice de la combinaison considérée. On voit l'analogie de cette expression de la valeur de l'effet Peltier avec le terme $\pm T \frac{dE}{dT}$ de l'équation de M. Helmholtz, terme représentant la différence entre la chaleur chimique et la chaleur voltaïque d'une pile; on est donc amené à se demander si ce sont là deux expressions équivalentes d'une même quantité, expressions qu'on serait en

droit d'identifier. Il est évident qu'on pourrait le faire seulement à la condition de rapporter la variation avec la température à la partie thermo-électrique de la force électromotrice. M. Duhem a insisté sur l'impossibilité d'instituer une semblable identification *à priori*, eu égard à l'absence d'une relation connue entre l'entropie d'un système et ses constantes thermo-électriques. Nous nous sommes conséquemment adressés à l'observation directe. A cette fin, nous avons choisi quelques piles (étudiées par M. Wright), que nous avons prises parmi les différentes catégories, distinguées par les physiciens; nous en avons déterminé les forces électromotrices et les valeurs de $\frac{dE}{dT}$ des forces thermo-électromotrices aux différents contacts des métaux, liquides et précipités, réunis pour former les piles.

Nous nous sommes servis d'une méthode de compensation qui ne diffère pas en principe de la manière dont M. Bouty mesurait la différence de potentiel aux extrémités des tubes capillaires pour arriver à déterminer leur conductibilité (*Annales de chimie et de physique*, 1884); toutes nos mesures se rapportent donc à des piles ouvertes. Mais, pour éviter des mesures absolues, nous avons comparé, par substitution, les forces électromotrices inconnues à celles de plusieurs éléments *normaux :* de Gouy, Latimer-Clark et Helmholtz (dissol. de $ZnCl^2$ à 8 p. 100). En adoptant 1.433 volt à 22° pour le L.-Cl., nous avons obtenu, le 6 avril 1888 :

L.-Cl. = 1,433 volt; Gouy = 1,3919 volt;
Helmholtz = 1,0822 volt;

et de même, le 5 août 1888, avec les mêmes éléments :

L.-Cl. = 1,433 volt; Gouy = 1,3909 volt;
Helmholtz = 1,0824 volt.

Ces valeurs se rapprochent sensiblement des données des auteurs et ont été suffisamment constantes, pour le but de notre recherche, entre les époques du commencement et de la fin des mesures en question. Les variations des forces thermo-électromotrices ont été mesurées de la même manière, à l'électromètre de M. Lippmann, avec des piles, contenant le même métal aux deux électrodes, séparées par un long tube capillaire et maintenues, l'une à 0° C., l'autre à 50° C. environ dans les étuves; la lecture des températures se faisait au dixième de degré. Nous n'avons pas tenu compte des variations thermo-électriques au contact des métaux entre eux et des liquides entre eux, ces quantités étant négligeables pour des évaluations approximatives. Voici quelques exemples (*) :

1. *Cas de force électromotrice observée plus grande que la force calculée* (théorème de Thomson) : Cu | sol. $CuSO^4$ | sol. $ZnSO^4$ | $PbSO^4$ | Pb. — E trouvée = 0,61 volt à 20°.

Théorie = 0,383 volt, en adoptant : Cu, S, O^4, dissous = 198,4 cal. et Pb, S, O^4 = 216,2 cal.; $\frac{dE}{dT} = 0,00066$ volt, par degré (entre 0° et 50°) pour le système Cu | sol. $CuSO^4$ | Cu; et $\frac{dE}{dT} = -0,00011$ pour le système Pb | $PbSO^4$ | sol. $ZnSO^4$ | $PbSO^4$ | Pb.

On en tire, par l'équation de M. Helmholtz,

(*) Les liqueurs des piles ont toujours été *normales* (1 équiv. = 1 lit.). Sol. $CuSO^4$ indique une dissolution normale de $CuSO^4$ pour nos observations.

$E = 0{,}608$ volt, comme le donne l'observation directe. Nous remarquerons ici que nous avons toujours tenu compte de la polarisation, très faible du reste, qu'on observe pour des électrodes identiques à même température ; aussi nous ne citons que des observations où la force électromotrice de la pile et les différences thermo-électriques revenaient exactement aux valeurs initiales, après un échauffement prolongé, condition qui restreint beaucoup le nombre des piles capables d'être étudiées à ce point de vue.

2. *Même catégorie de piles :* Hg | Hg^2Cl^2 | sol. $ZnCl^2$ | sol. $PbCl^2$ (*) | Pb. — E trouvée $= 0{,}540$ volt à 20°.

Théorie $= 0{,}434$ volt, en adoptant Pb, Cl^2 (solide) $= 82{,}8$ cal. et Hg^2, $Cl^2 = 62{,}6$ cal.; ou théorie $= 0{,}33$ volt, en adoptant Pb, Cl^2 (dissous) $= 76$ cal.;

$\frac{dE}{dT} = 0{,}00066$ volt pour le système Hg | Hg^2Cl^2 | sol. $ZnCl^2$ | Hg^2Cl^2 | Hg;

$\frac{dE}{dT} = 0{,}00009$ pour le système Pb | sol. $PbCl^2$ | Pb.

On en tire $E = 0{,}50$ volt pour $PbCl^2$ dissous et $E = 0{,}60$ volt pour $PbCl^2$ solide ; la valeur que nous avons trouvée est intermédiaire.

3. *Cas de force électromotrice observée moindre que la force calculée :* Pb | $PbSO^4$ | sol. $ZnSO^4$ | Zn. — E trouvée $= 0{,}500$ volt à 20°.

Théorie $= 0{,}697$ volt, en adoptant Zn, S, O^4 (dissous) $= 248{,}5$ cal. Nous trouvons $\frac{dE}{dT} = 0{,}00076$ volt pour le système Zn | sol. $ZnSO^4$ | Zn, et comme plus haut

$$\frac{dE}{dT} = -0{,}00011 \text{ volt}$$

pour le système Pb | $PbSO^4$ | sol. $ZnSO^4$ | $PbSO^4$ | Pb.

(*) Dissolution saturée à froid dans une dissolution de $ZnCl^2$.

On en tire E = 0,506 volt.

4. *Cas de force électromotrice de signe opposé à la force calculée :* Hg | Hg^2Cl^2 | sol. KCl | AgCl | Ag — E trouvée = — 0,060 vol à 20°.

Théorie = + 0,090 volt, en adoptant Ag^2, Cl^2 = 58,4 cal.

Pour le système Hg | Hg^2Cl^2 | sol. KCl | Hg^2Cl^2 | Hg on trouve $\frac{dE}{dT}$ = 0,00068 volt;

Et de même $\frac{dE}{dT}$ = 0,00016 volt pour Ag | AgCl | sol. KCl | AgCl | Ag.

On en tire E = — 0,062 volt, identique encore à la valeur observée directement.

Nous avons adopté 62,6 cal. pour Hg^2, Cl^2. Avec l'ancienne valeur 82,6 cal. (Thomson), M. Gockel trouvait la chaleur secondaire de la pile Zn | sol. $ZnCl^2$ | Hg^2Cl^2 | Hg = 21 cal., tandis que l'effet Peltier ne lui donnait que 1,45 cal.; mais, en calculant la chaleur secondaire avec les nouvelles données, on trouve 2,0 cal. De même pour la pile Zn | sol. ZnI^2 | Hg^2I^2 | Hg la valeur secondaire serait (données anciennes) 23,0 cal., tandis que l'effet Peltier ne donne que 4,45 cal.; mais, en calculant avec les nouveaux chiffres, on obtient la chaleur secondaire = 6,63 cal., ce qui concorde assez bien.

Enfin, récemment, M. Jahn, mesurant directement la chaleur de l'effet Peltier au calorimètre de glace, l'a trouvée concordante avec la chaleur secondaire.

Ainsi, pour la pile Zn | sol. $ZnSO^4$ | sol. Ag^2SO^4 | Ag. la théorie (théorème Thomson) indique 78,34 cal.; on observe 69,25 cal. pour la chaleur disponible au courant; mais, en tenant compte de la chaleur de l'effet Peltier, on trouve 68,67 cal. disponibles.

De même pour la pile Cu | sol. $CuSO^4$ | sol. Ag^2SO^4 | Ag ; théorie : 29,72 cal. ; observation : 19,12 cal., et en déduisant la chaleur de l'effet Peltier : 20,72 cal. pour la chaleur disponible.

Nous avons tenu à appeler l'attention sur cette conclusion, qui ressort des divers ordres de faits exposés : la complication de la force électromotrice des piles, due à l'effet de Peltier, est de nature à combler la lacune entre la force observée directement et celle qu'on calcule au moyen du théorème de Thomson. L'effet de Peltier donne une valeur du même signe et du même ordre que cette différence. Sans vouloir affirmer que c'est là l'unique cause de complication, nous prétendons seulement que la divergence considérée ne prête pas à un calcul des *coefficients d'effet utile* de l'énergie chimique, mesurée par voie calorimétrique.

L'énergie chimique ne viendrait donc à se convertir en énergie électrique que partiellement, grâce à l'intervention de phénomènes secondaires.

(*Comptes rendus*, 7 mai 1889.)

NOTE

SUR LES

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ARTIFICIELLES

Nous avons indiqué dans un précédent article (*) comment on peut calculer le régime du courant à l'arrivée sur une ligne artificielle, lorsqu'on introduit brusquement, au départ, une force électromotrice E. Mais nous n'avons point traité le cas où cette ligne présente une certaine self-induction et où des appareils télégraphiques sont intercalés à ses extrémités. Nous nous proposons de compléter en conséquence cette première étude.

§ 1. *Lignes sans self-induction.*

Reprenons d'abord en partie le cas où la ligne artificielle est divisée en $(n+1)$ sections (bobines) de résistances $R_1 R_2, \ldots R_{n+1}$ (sans self-induction), leurs points de jonction étant reliés respectivement à des condensateurs de capacités $C_1, C_2, \ldots C_n$, dont la deuxième armature communique avec le sol. Supposons que la branche R_1 contienne une force *e.m.* E et que la branche R_{n+1} soit reliée au sol, et désignons par :

$i_1, i_2, \ldots i_{n+1}$ les intensités du courant dans les diverses sections au temps t;

$V_1, V_2, \ldots V_n$ les potentiels à leurs points de jonction.

(*) *Annales télégraphiques*, Janvier-Février 1884.

La loi d'Ohm appliquée aux branches $R_1, R_2, \ldots R_{n+1}$, donne les relations :

$$\left\{\begin{array}{l} E - V_1 = R_1 i_1 \\ V_1 - V_2 = R_2 i_2 \\ \vdots \\ V_n = R_{n+1} i_{n+1}. \end{array}\right.$$

Quant aux courants de charge des condensateurs, ils ont pour expressions :

$$(2) \quad \left\{\begin{array}{l} i_1 - i_2 = C_1 \frac{dV_1}{dt} \\ i_2 - i_3 = C_2 \frac{dV_2}{dt} \\ \vdots \\ i_n - i_{n+1} = C_n \frac{dV_n}{dt}. \end{array}\right.$$

En éliminant $i_1, i_2, \ldots i_{n+1}$ entre les systèmes (1) et (2), on en déduit :

$$(3) \quad \left\{\begin{array}{l} \left[(R_1 + R_2) V_1 + C_1 R_1 R_2 \frac{dV_1}{dt}\right] - R_1 V_2 = R_2 E \\ -R_3 V_1 + \left[(R_2 + R_3) V_2 + C_2 R_2 R_3 \frac{dV_2}{dt}\right] - R_2 V_3 = 0 \\ \vdots \\ -R_n V_{n-2} + \left[(R_{n-1} + R_n) V_{n-1} + C_{n-1} R_{n-1} R_n \frac{dV_{n-1}}{dt}\right] - R_{n-1} V_n = 0 \\ -R_{n+1} V_{n-1} + \left[(R_n + R_{n+1}) V_n + C_n R_n R_{n+1} \frac{dV_n}{dt}\right] = 0 \end{array}\right.$$

On sait que l'intégration de ces n équations différentielles linéaires à coefficients constants donne pour les $V_1, V_2, \ldots V_n$ des expressions de la forme :

$$V = V_0 + a_1 e^{\alpha_1 t} + a_2 e^{\alpha_2 t} + \ldots + a_n e^{\alpha_n t};$$

les constantes $a_1, a_2, \ldots a_n$ dépendant des conditions

initiales du problème, et les coefficients $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ étant les n racines de l'équation algébrique :

$$\begin{vmatrix} R_1+R_2+C_1R_1R_2\alpha & -R_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ -R_3 & R_2+R_3+C_2R_2R_3\alpha & -R_2 & & & \vdots \\ 0 & -R_4 & R_3+R_4+C_3R_3R_4\alpha & & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & & R_{n-1}+R_n+C_{n-1}R_{n-1}R_n\alpha & -R_{n-1} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & -R_{n+1} & R_n+R_{n+1}+C_nR_nR_{n+1}\alpha \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

Nous nous bornerons au calcul du courant i_{n+1} à l'arrivée, que nous désignerons simplement par la lettre i. D'après la dernière des équations (1), l'expression de i sera de la forme :

$$\frac{i}{I} = 1 + A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t} + \ldots\ldots + A_n e^{\alpha_n t}. \quad (5)$$

Au bout d'un temps infini, la valeur de i se réduit à I, qui représente, par conséquent, l'intensité du courant dans le régime permanent. Quant aux coefficients $A_1, A_2, \ldots A_n$, on les déterminera comme il suit en fonction des racines $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ de l'équation (4).

La ligne artificielle étant primitivement à l'état neutre, la force *e.m.* E est introduite à l'époque $t=0$. On voit donc successivement que, pour $t=0$: 1° V_1, $V_2, \ldots V_n$ sont nuls; 2° par suite, d'après les équations (1), $i_2, i_3, \ldots i_{n+1}$ sont nuls; 3° d'après les équations (2), il en est de même de $\frac{dV_2}{dt}, \frac{dV_3}{dt}, \ldots \frac{dV_n}{dt}$; 4° de nouveau d'après (1), $\frac{di_3}{dt}, \frac{di_4}{dt}, \ldots \frac{di_{n+1}}{dt}$ sont nuls, etc.; enfin que $\frac{d^{n-1} i_{n+1}}{dt^{n-1}}$ est nul. Écrivons donc que, pour $t=0$, l'expression (5) de $i_{n+1}=i$ est nulle, ainsi que ses $(n-1)$

premières dérivées. Il viendra :

$$(6)\quad \left\{\begin{aligned} A_1 + A_2 + \dots + A_n &= -1 \\ A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2 + \dots + A_n\alpha_n &= 0 \\ &\vdots \\ A_1\alpha_1^{n-1} + A_2\alpha_2^{n-1} + \dots + A_n\alpha_n^{n-1} &= 0 \end{aligned}\right.$$

De ces n équations du premier degré on tirera les valeurs des inconnues $A_1, A_2, \dots A_n$. On a ainsi :

$$A_1 \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_n \\ \alpha_1^2 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_n^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha_1^{n-1} & \alpha_2^{n-1} & \dots & \alpha_n^{n-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & \alpha_2 & \dots & \alpha_n \\ 0 & \alpha_2^2 & \dots & \alpha_n^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \alpha_2^{n-1} & \dots & \alpha_n^{n-1} \end{vmatrix}$$

Or, le déterminant qui multiplie A_1, s'annulant lorsque deux coefficients α_k et α_l sont égaux, contiendra en facteur toutes les différences telles que $(\alpha_k - \alpha_l)$; et, comme il est de degré $(n-1)$ par rapport à chacun des coefficients $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ on voit que sa valeur est :

$$(\alpha_2-\alpha_1)(\alpha_3-\alpha_1)\dots(\alpha_n-\alpha_1)(\alpha_3-\alpha_2(\alpha_4-\alpha_2)\dots(\alpha_n-\alpha_2)(\alpha_4-\alpha_3)\dots(\alpha_n-\alpha_{n-1})$$

De même le déterminant du second membre de la formule précédente est égal à :

$$-\alpha_2\alpha_3\dots\alpha_n(\alpha_3-\alpha_2)(\alpha_4-\alpha_2)\dots(\alpha_n-\alpha_2)(\alpha_4-\alpha_3)\dots(\alpha_n-\alpha_{n-1}).$$

Il en résulte :

$$A_1 = -\frac{\alpha_2\alpha_3\dots\alpha_n}{(\alpha_2-\alpha_1)(\alpha_3-\alpha_1)\dots(\alpha_n-\alpha_1)}$$

ou :

$$(7)\qquad -\frac{1}{A_1} = \left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_3}\right)\dots\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_n}\right).$$

$A_2, A_3, \dots A_n$ seront donnés par des formules analogues. On peut en calculer une autre expression en

écrivant l'équation (4) :

$$f(\alpha) = f(0)\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_1}\right)\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_2}\right)\cdots\cdots\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_n}\right).$$

Le second membre de (7) n'est autre chose en effet que la dérivée $f'(\alpha_1)$ multipliée par $-\frac{\alpha_1}{f(0)}$. On a donc :

$$(7') \qquad A_1 = \frac{f(0)}{\alpha_1 f'(\alpha_1)}.$$

Nous n'examinerons que le cas où les diverses sections de la ligne artificielle sont identiques, c'est-à-dire où l'on a :

$$\begin{cases} R_1 = R_2 = \ldots = R_{n+1} = \dfrac{R}{n+1} \\ C_1 = C_2 = \ldots\ldots = C_n = \dfrac{C}{n}. \end{cases}$$

L'équation (4) peut alors s'écrire, en divisant chaque terme du déterminant par $\frac{R}{n+1}$:

$$(8) \quad \Delta_n = \begin{vmatrix} 2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} & -1 & 0 & \ldots & \ldots & 0 \\ -1 & 2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} & -1 & & & \vdots \\ 0 & -1 & 2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} & & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & & 2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} & -1 \\ 0 & \ldots & \ldots & \ldots & -1 & 2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} \end{vmatrix}$$

En développant Δ_n et divisant par $(n+1)$, on obtient l'équation :

$$\frac{\Delta_n}{n+1} = f_n(\alpha) = 1 + \frac{n+2}{n+1}\,\frac{CR\alpha}{1.2.3} + \frac{(n-1)(n+2)(n+3)}{n(n+1)^2}\,\frac{(CR\alpha)^2}{1.2.3.4.5}$$
$$+ \frac{(n-2)(n-1)(n+2)(n+3)(n+4)}{n^2(n+1)^3}\cdot\frac{(CR\alpha)^3}{1.2.3.4.5.6.7} + \ldots = 0$$

Si l'on pose :

$$2 + \frac{CR\alpha}{n(n+1)} = x$$

on aura encore :

$$\Delta_n = x^n - \frac{n-1}{1} x^{n-2} + \frac{(n-2)(n-3)}{1.2} x^{n-4} - \frac{(n-3)(n-4)(n-5)}{1.2.3} x^{n-6} + \ldots = 0.$$

Les racines du polynôme Δ_n sont deux à deux égales et de signes contraires, sauf une qui est nulle lorsque n est impair. Elles seront plus faciles à calculer que celles du polynôme f_n. L'équation $\Delta_n = 0$ se ramène au premier ou au second degré jusqu'à $n = 5$. Elle se résout donc aisément. On trouvera ainsi, en ayant égard aux formules (7) et (7') pour la détermination des coefficients A :

Pour $n = 1 \left(R_1 = R_2 = \frac{R}{2};\ C_1 = C\right)$:

$$\frac{i}{I} = 1 - e^{-\frac{4t}{CR}},$$

Pour $n = 2 \left(R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R}{3};\ C_1 = C_2 = \frac{C}{2}\right)$:

$$\frac{i}{I} = 1 - \frac{3}{2} e^{-\frac{6t}{CR}} + \frac{1}{2} e^{-\frac{18t}{CR}};$$

Pour $n = 3$:

$$\frac{i}{I} = 1 - \frac{2+\sqrt{2}}{2} e^{-12(2-\sqrt{2})\frac{t}{CR}} + e^{-24\frac{t}{CR}} - \frac{2-\sqrt{2}}{2} e^{-12(2+\sqrt{2})\frac{t}{CR}};$$

Pour $n = 4$:

$$\frac{i}{I} = 1 - \frac{5+\sqrt{5}}{4} e^{-10(3-\sqrt{5})\frac{t}{CR}} + \frac{3+\sqrt{5}}{4} e^{-10(5-\sqrt{5})\frac{t}{CR}}$$

$$- \frac{5-\sqrt{5}}{4} e^{-10(3+\sqrt{5})\frac{t}{CR}} + \frac{3-\sqrt{5}}{4} e^{-10(5+\sqrt{5})\frac{t}{CR}};$$

Pour $n = 5$:

$$\frac{i}{I} = 1 - \frac{2+\sqrt{3}}{2} e^{-30(2-\sqrt{3})\frac{t}{CR}} + \frac{3}{2} e^{-30\frac{t}{CR}} - e^{-60\frac{t}{CR}} + \frac{1}{2} e^{-90\frac{t}{CR}} - \frac{2-\sqrt{3}}{2} e^{-30(2+\sqrt{3})\frac{t}{CR}}.$$

Pour $n = 7$, les 7 racines de l'équation $\Delta_n = 0$ sont $x = 0$, $\pm\sqrt{2}$, $\pm\sqrt{2 \pm \sqrt{2}}$. — Pour $n = 9$, les 9 racines de cette équation sont $0, \pm\frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}, \pm\sqrt{\frac{5 \pm \sqrt{5}}{2}}$. — Quant aux coefficients A, on les calculera simplement par les formules : $A_1 = -\frac{1}{2}(x_1 + 2)$; $A_2 = +\frac{1}{2}(x_2 + 2)$; $A_3 = -\frac{1}{2}(x_3 + 2), \ldots$

Pour $n = \infty$, $f_n(\alpha)$ devient :

$$f(\alpha) = 1 + \frac{CR\alpha}{1.2.3} + \frac{(CR\alpha)^2}{1.2.3.4.5} + \ldots\ldots = \frac{\sin\sqrt{-CR\alpha}}{\sqrt{-CR\alpha}}$$

et les racines de $f(\alpha)$ sont celles de $\sin\sqrt{-CR\alpha}$, sauf la racine zéro, soit :

$$CR\alpha = -\pi^2, -4\pi^2, -9\pi^2, \ldots\ldots - n^2\pi^2, \ldots\ldots$$

D'autre part à la racine $\alpha = -\frac{n^2\pi^2}{CR}$ correspond un coefficient A égal, d'après (7'), à :

$$A = \frac{f(0)}{\alpha f'(\alpha)} = \frac{2}{\cos n\pi} = 2(-1)^n.$$

Il en résulte pour l'intensité i l'expression :

$$\frac{i}{I} = 1 + 2\sum_{n=1}^{n=\infty} (-1)^n e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{CR}}.$$

Cette formule, ainsi qu'on devait s'y attendre, n'est autre chose que celle que l'on trouve lorsqu'on calcule le courant à l'arrivée sur une ligne télégraphique réelle (sans self-induction) ayant mêmes résistance et capacité totales R et C (formule de sir W. Thomson).

Le tableau suivant montre le régime du courant à l'arrivée suivant que la ligne artificielle est divisée en 2, 3, 4, 5, 6 sections ou un nombre infini, R et C conservant toujours les mêmes valeurs :

	LIGNE ARTIFICIELLE					LIGNE réelle	DIFFÉRENCE entre $n = 5$ et $n = \infty$
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = \infty$	
$\frac{t}{CR} = 0{,}02$	$\frac{i}{I} = 0{,}0769$	0,0185	0,0065	0,0029	0,0015	0,0000	−0.0015
0,04	0,1479	0,0634	0,0373	0,0261	0,0203	0,0109	−0,0094
0,06	0,2134	0,1233	0,0922	0,0780	0,0707	0,0714	+0,0007
0,08	0,2739	0,1903	0,1627	0,1517	0,1457	0,1753	+0,0296
0,10	0,3297	0,2594	0,2406	0,2363	0,2370	0,2922	+0,0552
0,12	0,3812	0,3275	0,3196	0,3229	0,3291	0,4056	+0,0765
0,14	0,4288	0,3927	0,3957	0,4060	0,4167	0,5057	+0,0890
0.16	0,4727	0,4537	0,4667	0,4827	0,4966	0,5913	+0,0947
0,18	0,5133	0,5102	0,5315	0,5516	0,5677	0,6632	+0,0955
0,20	0,5507	0,5619	0,5897	0,6126	0,6297	0,7229	+0,0932
0,24	0,6171	0,6513	0,6872	0,7125	0,7301	0,8129	+0,0828
0,28	0,6737	0,7237	0,7627	0,7875	0,8038	0,8739	+0,0701
0,32	0,7220	0,7817	0,8204	0,8432	0,8576	0,9150	+0,0574
0,36	0,7631	0,8278	0,8643	0,8844	0,8967	0,9427	+0,0460
0,40	0,7981	0,8643	0,8975	0,9148	0,9251	0,9614	+0,0363
0,50	0,8647	0,9254	0,9492	0,9603	0,9665	0,9856	+0,0191
0,60	0,9093	0,9590	0,9749	0,9815	0,9850	0,9946	+0,0094
0,80	0,9592	0,9877	0,9938	0,9960	0,9970	0,9993	+0,0023
1,00	0,9817	0,9963	0,9985	0,9991	0,9994	0,9999	+0,0005
∞	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0

§ 2. *Lignes avec self-induction.*

Supposons que les sections de la ligne artificielle aient, non seulement des résistances $R_1, R_2, \ldots R_{n+1}$, mais encore des coefficients de self-induction $L_1, L_2, \ldots L_{n+1}$. Les équations (2) subsisteront; mais les équations (1) seront remplacées par :

$$
(1') \quad \left\{
\begin{aligned}
E - V_1 &= R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \\
V_1 - V_2 &= R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \\
&\vdots \\
V_n &= R_{n+1} i_{n+1} + L_{n+1} \frac{di_{n+1}}{dt}.
\end{aligned}
\right.
$$

On peut exprimer ceci en disant que les coefficients $R_1, R_2, \ldots R_{n+1}$ des équations (1) et (3) sont remplacés ici par les coefficients symboliques $\left(R_1 + L_1 \frac{d}{dt}\right), \ldots \left(R_{n+1} + L_{n+1} \frac{d}{dt}\right)$. Il en résulte que, dans l'équation (4), $R_1, R_2, \ldots$ devront être remplacés par les binômes $(R_1 + L_1\alpha)$, $(R_2 + L_2\alpha)\ldots$

Dans le cas où les diverses sections de la ligne sont identiques, c'est-à-dire où l'on a :

$$\left\{\begin{array}{l} R_1 = R_2 = \ldots\ldots = R_{n+1} = \dfrac{R}{n+1} \\ L_1 = L_2 = \ldots\ldots = L_{n+1} = \dfrac{L}{n+1} \\ C_1 = C_2 = \ldots\ldots = C_n \quad = \dfrac{C}{n} \end{array}\right.$$

l'équation (4) ainsi modifiée devient, en divisant chaque terme du déterminant par $\frac{R + L\alpha}{n+1}$:

$$(8') \qquad 0 = \begin{vmatrix} 2 + \frac{CR\alpha + CL\alpha^2}{n(n+1)} & -1 & \cdots & \cdots & 0 \\ -1 & 2 + \frac{CR\alpha + CL\alpha^2}{n(n+1)} & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & 2 + \frac{CR\alpha + CL\alpha^2}{n(n+1)} & -1 \\ 0 & \cdots & \cdots & -1 & 2 + \frac{CR\alpha + CL\alpha^2}{n(n+1)} \end{vmatrix}$$

Ce n'est autre chose que l'équation (8), dans laquelle R est remplacé par $(R + L\alpha)$, ou bien $CR\alpha$ par $(CR\alpha + CL\alpha^2)$. Si donc on désigne par α une racine de l'équation (8), l'équation (8′) admettra deux racines α' et α'' telles que l'on ait :

$$(9)\qquad \begin{cases} CR\alpha' + CL\alpha'^2 = CR\alpha \\ CR\alpha'' + CL\alpha''^2 = CR\alpha \end{cases}$$

Les n racines α de (8) ayant été déterminées, les $2n$ racines de (8') se calculeront par l'équation du second degré (9). Mais à ces $2n$ racines on doit en ajouter une autre, savoir :

$$-\frac{R}{L} = -\frac{1}{T} = \alpha_0$$

qui provient du facteur $(R + L\alpha)$ par lequel on a divisé l'équation (4) modifiée pour obtenir (8'). Le nombre total des racines étant $(2n + 1)$, l'expression (5) du courant i à l'arrivée sera modifiée ainsi :

$$(5')\qquad \frac{i}{I} = 1 + A_0 e^{\alpha_0 t} + A'_1 e^{\alpha'_1 t} + A''_1 e^{\alpha''_1 t} + \ldots\ldots + A'_n e^{\alpha'_n t} + A''_n e^{\alpha''_n t}$$

Pour calculer les coefficients A_0, A'_1, A''_1,... on remarquera que, pour $t = 0$, la ligne étant à l'état neutre : 1° $V_1, V_2, \ldots V_n, i_1, i_2, \ldots i_{n+1}$ sont nuls par là même; 2° par suite, d'après (2), $\frac{dV_1}{dt}, \frac{dV_2}{dt}, \ldots \frac{dV_n}{dt}$ sont nuls et, d'après (1'), $\frac{di_2}{dt}, \frac{di_3}{dt}, \ldots \frac{di_{n+1}}{dt}$ le sont également; 3° par conséquent, d'après (2), $\frac{d^2V_2}{dt^2}, \ldots \frac{d^2V_n}{dt^2}$ sont nuls et, d'après (1'), $\frac{d^2i_2}{dt^2}, \ldots \frac{d^2i_{n+1}}{dt^2}$ le sont aussi, et ainsi de suite. On reconnaît ainsi que l'intensité $i_{n+1} = i$ est nulle pour $t = 0$, ainsi que ses dérivées jusqu'à l'ordre $2n$ inclusivement. En écrivant cette condition, on trouvera, au lieu des relations (6) :

$$(6')\qquad \begin{cases} A_0 + A'_1 + \ldots\ldots + A''_n = -1 \\ A_0\alpha_0 + A'_1\alpha'_1 + \ldots\ldots + A''_n\alpha''_n = 0 \\ \vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \\ A_0\alpha_0^{2n} + A'_1\alpha'^{2n}_1 + \ldots\ldots + A''_n\alpha''^{2n}_n = 0 \end{cases}$$

De ces $(2n+1)$ équations du premier degré on tirera les inconnues A_0, A'_1,... A''_n par des formules analogues à (7) :

$$(10) \begin{cases} -\frac{1}{A_0} = \left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha'_1}\right)\left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha''_1}\right) \cdots\cdots \left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha''_n}\right) \\ -\frac{1}{A'_1} = \left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha_0}\right)\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha''_1}\right)\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha'_2}\right)\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha''_2}\right)\cdots \\ -\frac{1}{A''_1} = \left(1-\frac{\alpha''_1}{\alpha_0}\right)\left(1-\frac{\alpha''_1}{\alpha'_1}\right)\left(1-\frac{\alpha''_1}{\alpha'_2}\right)\left(1-\frac{\alpha''_1}{\alpha''_2}\right)\cdots \end{cases}$$

Mais, d'après les propriétés de l'équation du second degré (9), on a :

$$\begin{cases} \alpha'_1 + \alpha''_1 = \alpha'_2 + \alpha''_2 = \ldots = -\frac{CR}{CL} = \alpha_0 \\ \frac{\alpha'_1 \alpha''_1}{\alpha_1} = \frac{\alpha'_2 \alpha''_2}{\alpha_2} \cdots\cdots = -\frac{CR}{CL} = \alpha_0. \end{cases}$$

Il en résulte :

1° $$\left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha'_1}\right)\left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha''_1}\right) = \left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha'_2}\right)\left(1-\frac{\alpha_0}{\alpha''_2}\right) = \ldots\ldots = 1$$

d'où :

$$A_0 = -1\,;$$

2° $$\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha_0}\right)\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha''_1}\right) = \frac{\alpha''_1 - \alpha'_1}{\alpha_0}$$

et

$$\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha'_2}\right)\left(1-\frac{\alpha'_1}{\alpha''_2}\right) = 1 - \frac{\alpha'_1\alpha''_1}{\alpha'_2\alpha''_2} = 1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

d'où :

$$-\frac{1}{A'_1} = \frac{\alpha''_1 - \alpha'_1}{\alpha_0}\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_3}\right)\cdots\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_n}\right)$$

ou :

$$\begin{cases} A'_1 = \frac{\alpha_0}{\alpha''_1 - \alpha'_1} A_1 \\ A''_1 = \frac{\alpha_0}{\alpha'_1 - \alpha''_1} A_1 = -A'_1 \end{cases}$$

A_1 désignant le coefficient calculé par la formule (7).

En résumé, les racines $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ et les coefficients $A_1, A_2, \ldots A_n$ ayant été calculés comme il est dit au § 1, il ne restera à déterminer que les racines $\alpha'_1, \alpha''_1, \ldots$ par les équations (9), et l'on aura finalement :

$$(11) \quad \frac{i}{I} = 1 - e^{-\frac{Rt}{L}} + \frac{A_1 \alpha_0}{\alpha''_1 - \alpha'_1}\left(e^{\alpha'_1 t} - e^{\alpha''_1 t}\right) + \ldots + \frac{A_n \alpha_0}{\alpha''_n - \alpha'_n}\left(e^{\alpha''_n t} - e^{\alpha'_n t}\right)$$

Les racines α', α'' peuvent être imaginaires; les coefficients correspondants A', A'' le sont alors également. On mettra la formule (11) sous forme réelle, en appliquant la relation connue :

$$e^{\alpha + b\sqrt{-1}} = e^{\alpha}\left(\cos b + \sqrt{-1}\,\sin b\right).$$

Les calculs seront assez faciles pour $n = 1, 2, 3, 4, 5, 7$ et 9. Pour $n = \infty$, on retombe sur la formule relative au cas d'une ligne réelle (*) ayant une résistance, une self-induction et une capacité totales égales à R, L et C.

§ 3. *Influence des appareils aux extrémités de la ligne.*

Les problèmes traités dans les §§ 1 et 2 correspondent au cas théorique où les appareils télégraphiques n'existeraient pas aux extrémités de la ligne ou bien auraient une influence négligeable sur le régime du courant. Cette influence n'est pas négligeable, et il y a lieu d'en tenir compte. Généralement le récepteur télégraphique est un électro-aimant, mais l'installation des postes est très variable. Ainsi la ligne peut être coupée à ses extrémités par des condensateurs (câbles sous-marins); les postes peuvent être installés en du-

(*) V. *Annales télégraphiques*, Novembre-Décembre 1888.

plex, etc. Nous n'étudierons ici que le cas où la ligne est simplement prolongée : au poste de départ, par une branche de résistance r et de self-induction l, contenant une force *e.m.* E; au poste d'arrivée, par une branche de résistance r' et de self-induction l', reliée au sol. Nous ferons d'ailleurs abstraction de la réaction compliquée que développe le travail du récepteur.

Supposons d'abord nulle la self-induction. Les équations (3) subsisteront dans le cas considéré, et l'on aura :

$$\left\{\begin{array}{l} C_1 = C_2 = \ldots\ldots\ldots C_n = \dfrac{C}{n} \\ R_2 = R_3 = \ldots\ldots\ldots R_n = \dfrac{R}{n+1} \\ R_1 = r + \dfrac{R}{n+1} \quad \text{et} \quad R_{n+1} = r' + \dfrac{R}{n+1}. \end{array}\right.$$

L'équation (4) devient alors, en divisant chaque terme du déterminant par $\dfrac{R}{n+1}$ et remplaçant respectivement, pour abréger, $\dfrac{n+1}{R}r$, $\dfrac{n+1}{R}r'$ et $\dfrac{CR\alpha}{n(n+1)}$ par ε, ε' et y :

$$\begin{vmatrix} (2+y)(1+\varepsilon)-\varepsilon & -(1+\varepsilon) & 0 & \ldots\ldots & 0 \\ -1 & 2+y & -1 & & \vdots \\ 0 & -1 & 2+y & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & 2+y & -1 \\ 0 & \ldots\ldots & & -(1+\varepsilon') & (2+y)(1+\varepsilon')-\varepsilon' \end{vmatrix} = 0$$

ou bien, en développant le déterminant par rapport aux termes de la première et de la dernière ligne :

$$(12) \qquad (1+\varepsilon)(1+\varepsilon')\Delta_n - [\varepsilon(1+\varepsilon') + \varepsilon'(1+\varepsilon)]\Delta'_n + \varepsilon\varepsilon'\Delta''_n = 0$$

Δ_n désignant la valeur du déterminant ci-dessus lorsqu'on y fait $\varepsilon = \varepsilon' = 0$; Δ'_n le même déterminant dont on supprimerait la première ligne et la première colonne; Δ''_n le même déterminant dont on supprimerait les deux premières lignes et les deux premières colonnes.

En développant Δ_n par rapport à la première ligne, on trouverait la relation :

$$\Delta_n = (2 + y)\,\Delta'_n - \Delta''_n.$$

L'équation (12) peut donc s'écrire :

$$\Delta_n + (\varepsilon + \varepsilon')\,(\Delta_n - \Delta'_n) + \varepsilon\varepsilon' y\,\Delta'_n = 0,$$

ou :

$$(12') \quad \frac{\Delta_n}{n+1} + \frac{rr'}{R^2}\cdot CR\alpha\,\frac{\Delta'_n}{n} + \frac{r + r'}{R}\,(\Delta_n - \Delta'_n) = 0.$$

Telle est l'équation dont les racines $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ devront entrer dans l'expression (5) de $\frac{i}{I}$. Quant aux coefficients $A_1, A_2, \ldots A_n$, ils seront toujours donnés par la formule (7′) :

$$A = \frac{f(0)}{\alpha f'(\alpha)}$$

puisque les conditions (6) subsistent.

Appliquons ceci au cas d'une ligne réelle ($n = \infty$). En se reportant au développement du déterminant Δ_n (8), et remplaçant $\frac{CR\alpha}{n(n+1)}$ par y, on écrira :

$$\Delta_n = (n+1)\,f_n(\alpha) = (n+1) + \frac{n(n+1)(n+2)}{1.2.3}\,y + \frac{(n-1)n(n+1)(n+2)(n+3)}{1.2.3.4.5}\,y^2 + \ldots$$

Pour avoir le déterminant mineur Δ'_n, on n'a qu'à remplacer n par $(n-1)$ dans cette formule :

$$\Delta'_n = n + \frac{(n-1)n(n+1)}{1.2.3}y + \frac{(n-2)(n-1)n(n+1)(n+2)}{1.2.3.4.5}y^2 + \dots$$

d'où :

$$\Delta_n - \Delta'_n = 1 + \frac{n(n+1)}{1.2}y + \frac{(n-1)n(n+1)(n+2)}{1.2.3.4}y^2 + \dots$$

$$= 1 + \frac{CR\alpha}{1.2} + \frac{(n-1)(n+2)}{n(n+1)} \cdot \frac{(CR\alpha)^2}{1.2.3.4} + \dots$$

On aura donc à la limite, pour $n = \infty$:

$$\lim\left(\frac{\Delta_n}{n+1}\right) = \lim\left(\frac{\Delta'_n}{n}\right) = 1 + \frac{CR\alpha}{1.2.3} + \frac{(CR\alpha)^2}{1.2.3.4.5} + \dots$$

$$= \frac{\sin\sqrt{-CR\alpha}}{\sqrt{-CR\alpha}}$$

et :

$$\lim(\Delta_n - \Delta'_n) = 1 + \frac{CR\alpha}{1.2} + \frac{(CR\alpha)^2}{1.2.3.4} + \dots = \cos\sqrt{-CR\alpha}$$

de telle sorte que, dans le cas d'une ligne réelle ($n = \infty$), l'équation (12') se réduit à :

$$(13) \qquad \left(1 + \frac{Crr'\alpha}{R}\right)\frac{\sin\sqrt{-CR\alpha}}{\sqrt{-CR\alpha}} + \frac{r+r'}{R}\cos\sqrt{-CR\alpha} = 0$$

ou :

$$(13') \qquad \cot u = \frac{R}{r+r'}\left(\frac{rr'}{R^2}u - \frac{1}{u}\right)$$

en posant : $CR\alpha = -u^2$.

Les racines de cette équation transcendante en u se calculeront par approximations successives. Elles sont séparées par les valeurs $0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ Il est même facile de voir que si $\frac{R}{\sqrt{rr'}}$ est compris entre $(k-1)\pi$ et $k\pi$: 1° les $(k-1)$ racines inférieures à $(k-1)\pi$ sont comprises dans les intervalles respectifs de $\frac{\pi}{2}$ à π, de $\frac{3\pi}{2}$ à 2π, de $\frac{5\pi}{2}$ à $3\pi\dots$; 2° les racines supérieures à $k\pi$ sont comprises dans les intervalles respectifs de $k\pi$ à

$\left(k+\frac{1}{2}\right)\pi$, de $(k+1)\pi$ à $\left(k+\frac{3}{2}\right)\pi, \ldots$; 3° une racine est comprise entre $\left(k-\frac{1}{2}\right)\pi$ et $\frac{R}{\sqrt{rr'}}$.

Quant aux coefficients A, ils se calculeront par la formule (7') :

$$A = \frac{f(0)}{\alpha f'(\alpha)} = \frac{2f(0)}{uf'(u)}.$$

Ce calcul se simplifie si l'une des résistances r ou r' est nulle. Il est d'ailleurs très abordable, car il ne sera pas nécessaire en général de calculer plus de 4 ou 5 termes, les suivants devenant très rapidement négligeables.

Pour tenir compte de la self-induction de la ligne et des appareils, on n'aura, suivant une remarque faite au § 2, qu'à remplacer R, r, r' : 1° par $\left(R+L\frac{d}{dt}\right)$, $\left(r+l\frac{d}{dt}\right)$, $\left(r'+l'\frac{d}{dt}\right)$ dans les équations différentielles; 2° par $(R+L\alpha)$, $(r+l\alpha)$, $(r'+l'\alpha)$ dans l'équation algébrique en α. L'équation (13) devient ainsi :

$$\left[1+\frac{C(r+l\alpha)(r'+l'\alpha)\alpha}{R+L\alpha}\right]\frac{\sin\sqrt{-(CL\alpha^2+CR\alpha)}}{\sqrt{-(CL\alpha^2+CR\alpha)}} + \frac{r+r'+(l+l')\alpha}{R+L\alpha}\cos\sqrt{-(CL\alpha^2+CR\alpha)}=0.$$

Elle peut avoir quelques racines réelles; mais elle en a une infinité d'imaginaires, et leur recherche ne laisse pas d'être compliquée. Le calcul des coefficients A se fera encore par la formule (7').

VASCHY.

LE CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS
DE 1889

COMMUNICATIONS RELATIVES A LA TÉLÉGRAPHIE ET A LA TÉLÉPHONIE

Nous avons rendu compte sommairement, dans le numéro de septembre-octobre, des travaux du Congrès international des électriciens qui s'est réuni à Paris en 1889. Nous extrayons des procès-verbaux des séances de la troisième section (*télégraphie*, *téléphonie*, *signaux*) les communications les plus importantes relatives à la télégraphie et à la téléphonie :

« M. Pierre Picard a la parole pour sa communication : *Sur l'application des machines dynamo-électriques à la télégraphie*. La découverte des courants induits par le déplacement d'une bobine dans un champ magnétique était applicable à la télégraphie. Il y a deux moyens de faire cette application. Le premier système consiste à rendre solidaires le manipulateur et l'organe générateur des courants induits; la manipulation devient gênée, saccadée et très irrégulière. Ce système a donc dû être abandonné. Un second système a pris naissance à la suite de la découverte de la machine Gramme; le générateur est entièrement indépendant du manipula-

teur. La difficulté est d'obtenir des potentiels variables suivant la résistance des lignes. Schweindler avait tenté de ramener le potentiel à l'origine, à la même valeur pour toutes les lignes au moyen de résistances additionnelles. On arrivait ainsi à ajouter aux petites lignes des résistances de beaucoup supérieures à celle de la ligne. Aussi les essais tentés en 1879 sur 11 circuits durent-ils être abandonnés.

« A New-York, l'installation se compose de 3 séries de 5 dynamos : dans chacune, la cinquième dynamo sert d'excitatrice aux quatre autres. L'une des séries sert pour les courants positifs, l'autre, pour les courants négatifs; la troisième sert de groupe de rechange. Chaque dynamo ayant une force électromotrice de 75 volts, on a à sa disposition des potentiels initiaux de 75, 150, 225 ou 300 volts.

« L'auteur a cherché un troisième système, où l'emploi d'une seule dynamo put être combiné avec les prises de courants à potentiels variables. Il est arrivé à ce résultat en mettant l'un des pôles de la dynamo à la terre directement, et l'autre, à travers une résistance nommée échelle de potentiels. Suivant que la prise de courants se fera à un point plus ou moins éloigné de l'échelle des potentiels, le potentiel au départ sera plus ou moins considérable. Afin d'éviter les courts circuits dangereux, sur chaque dérivation, on met une résistance de 4 ohms par volt.

« Des essais très concluants ont été faits à Paris pendant douze à quinze mois (*); l'échelle des potentiels

(*) Depuis trois ans, divers essais ont été faits au Poste central de Paris en vue de remplacer les piles télégraphiques, soit par des machines dynamoélectriques (système P. Picard), soit par des accumulateurs. Ces essais seront ultérieurement décrits dans les *Annales télégraphiques*.

avait 5 à 6 ohms : le courant qui la parcourait était de 15 à 20 ampères. L'économie pécuniaire est indiscutable. On peut avoir à volonté des courants positifs ou négatifs en mettant les deux pôles à la terre à travers une échelle de potentiels.

« M. d'Infreville constate que le système décrit par M. Picard est employé en Amérique. La *Western Union Telegraph C°* avait en effet autrefois l'installation qu'a décrite M. Picard. Les machines étaient des dynamos Siemens qui ont marché pendant huit ans; elles n'occupaient qu'un espace restreint. Devenues insuffisantes, elles ont été transportées à Pittsburg. Même système à Albany; à New-York, on a pris des machines Edison-Hopkinson et on a combiné le système primitif avec le système à échelle de potentiels. Les 16.000 éléments de pile primitivement en usage sont restés, grâce à l'extension du réseau; ce sont des piles Callaud de 6 pouces sur 8. Elles servent encore pour les Sounders. On a pu constater que l'emploi des dynamos produisait une grande économie au bout de huit ans. — Le sytème décrit par M. Picard, d'ailleurs breveté aux États-Unis, est employé sur une large échelle pour le *Gold and Stock Telegraph* qui nécessite des courants très intenses; autrefois on était obligé de se servir de piles au bichromate qui ruinaient les bâtiments à cause de l'acide sulfurique qui se répandait sur les planchers.

« Une discussion s'engage, à laquelle prennent part MM. Sartiaux et Mercadier. Il en résulte que la *Western Union*, n'ayant rien publié au sujet du coût de ses installations, il est impossible d'avoir des chiffres exacts concernant les économies réalisées par ce système.

« La parole est donnée à M. Aylmer, qui continue

la discussion au nom de M. Preece. En 1873, M. Preece avait fait des essais au *Post-Office* avec une dynamo Gramme. Le courant était trop variable pour le Wheatstone. Il reprit ces essais en 1883 en faisant intervenir des accumulateurs. En ce moment, il a 220 circuits desservis par 29 accumulateurs, chargés une fois par mois par les dynamos servant à l'éclairage. Il n'est pas fixé sur l'économie que peut réaliser ce système. Il espère arriver à remplacer ses 30.000 éléments de pile par des accumulateurs.

« M. Paul Samuel, décrit le nouveau poste téléphonique de M. Van Rysselberghe pour lignes à bureaux nombreux.

« Dans le montage *par embrochage*, le seul pratique pour des postes téléphoniques, les effets nuisibles dus à la self-induction des relais d'appel des postes intermédiaires troublent considérablement la transmission de la parole dès que le nombre des postes devient un peu considérable.

« La méthode employée par M. Van Rysselberghe pour combattre ces effets, dérive du système général anti-inducteur; elle consiste à placer en dérivation sur les relais un condensateur de 1/2 microfarad. Ces condensateurs ne jouent aucun rôle pour la transmission des appels, mais ils servent à propager les ondes téléphoniques. On constitue ainsi en quelque sorte un circuit double : l'un comprenant tous les relais pour les appels, l'autre tous les condensateurs pour la parole. Dans le cas de 12 postes sur un fil, la ligne se trouve, au point de vue des courants téléphoniques, dans le même état que si elle était réellement coupée en autant de points

par des condensateurs. Mais M. Van Rysselberghe en Belgique, et M. Charles Cros en France, ont montré qu'un circuit semblable convenait parfaitement pour le téléphone.

« Le poste de M. Van Rysselberghe, qui a figuré à l'Exposition dans la section belge, est monté pour courant continu, avec une seule pile pour tous les postes. Les appels se font par rupture de circuit; on attribue un signal particulier à chaque poste.

« Tous les postes sont ainsi prévenus dès qu'un accident se produit sur le fil. Grâce aux condensateurs et aux relais, on possède un dispositif anti-inducteur qui permet à deux postes de correspondre par appels, en signaux Morse, pendant que deux autres postes correspondent par le téléphone.

« L'efficacité de ce nouveau procédé se fait d'autant plus sentir que la ligne est plus longue.

« M. d'Infreville appelle l'attention de la section sur une manière d'utiliser les piles Callaud pour tous usages. C'est la meilleure pile. Le vase en verre doit être très haut; le cuivre bas et vertical. Il doit plonger dans une solution concentrée de sulfate de cuivre. Il ne faut ajouter de cristaux que quand il n'y en a plus au fond du vase; on les introduit par un verre de lampe. La pile se forme par deux ou trois jours de court circuit. La pile peut alors servir trois ans, à condition de recouvrir le sulfate de zinc d'une couche d'huile.

« M. Mercadier ne se sert également que de piles Callaud, grand modèle, à l'École polytechnique. Il en est très satisfait.

« M. Baudot fait observer que la diffusion lente des liquides doit faire monter peu à peu le sulfate de cuivre.

« M. d'Infreville répond que si les précautions indiquées sont rigoureusement observées, le mélange ne se fera pas. Le sulfate de zinc doit être une solution à demi concentrée; ce fait se constate au moyen d'un petit aréomètre.

« La parole est à M. Palaz pour sa communication : *Sur les rapports de voisinage des réseaux téléphoniques et industriels.*

« On n'a pas jusqu'à maintenant accordé une attention suffisante aux rapports de voisinage des réseaux téléphoniques et des réseaux industriels. Le développement des réseaux d'éclairage électrique et de distribution de force motrice occasionne très souvent des perturbations dans les réseaux téléphoniques. Ces perturbations sont dues à ce que ces derniers sont à fil simple, la ligne téléphonique prenant terre aux deux extrémités; dans ces conditions, le réseau téléphonique est soumis à toutes les fluctuations de l'état électrique du sol.

« Or, quel que soit le soin avec lequel les réseaux industriels sont construits, il est difficile d'éviter les pertes à la terre; dans les tramways électriques cette difficulté devient même une impossibilité.

« Le seul moyen de rendre le réseau téléphonique indépendant des perturbations provenant du réseau industriel consiste à construire toutes les lignes téléphoniques à double fil. Cette transformation s'impose également pour la téléphonie interurbaine.

« Dans certains cas on pourrait soustraire les fils d'une artère téléphonique aux perturbations du réseau

industriel en employant pour tous ces fils un fil de retour commun.

« *Conclusions :*

« 1° Les réseaux électriques industriels doivent être à circuit métallique complet, aussi bien isolé que possible ;

« 2° Les réseaux téléphoniques doivent être construits à double fil afin de permettre :

« *a.* Le développement ultérieur de la téléphonie interurbaine ;

« *b* L'exploitation simultanée et sans perturbations des réseaux téléphoniques et industriels.

« M. Vaschy apporte quelques renseignements pratiques sur l'effet des fils industriels sur les réseaux téléphoniques. Ces effets sont de deux sortes : les mélanges et les phénomènes d'induction. Pratiquement, les mélanges ne se produisent que rarement et sont faciles à supprimer lorsque l'isolement des fils est normal et que la distance n'est pas inférieure à 1 mètre.

« L'induction peut se produire par les courants continus des dynamos, car ces courants ne sont jamais continus à proprement parler, ou par les courants alternatifs. Dans les deux cas, on connaît la période du courant industriel, et il est facile de voir si la hauteur du son rendu au téléphone est d'accord avec cette période. La Société électrotechnique de Berlin a fait des essais en 1888 sur des conducteurs de courte longueur. Dès 1884, l'Administration française s'était préoccupée de la question et M. Cochery avait nommé une Commission où figuraient même des industriels : MM. Marcel Deprez et Lemonnier. Cette Commission a rédigé un projet de règlement, qui amendé par le Conseil d'État,

est devenu le décret du 15 mai 1888. L'Administration n'a constaté d'effets d'induction importants que dans les trois cas suivants :

« A Angoulême, en 1888, on a installé un petit réseau d'éclairage à simple fil; il se produisit bientôt un bruit insupportable dans le téléphone; on dut doubler le circuit de lumière. Dès lors toute gêne cessa : l'induction se produisait à 80 mètres de distance.

« A Saint-Étienne, la Compagnie Edison a installé un réseau souterrain. Les conducteurs étaient mal isolés. Les pertes détruisaient l'équilibre des effets d'induction des deux fils d'aller et de retour du courant industriel. Il a suffi d'améliorer l'isolement des câbles pour détruire les effets nuisibles.

« Le troisième cas est celui d'une ligne téléphonique posée sur les mêmes poteaux qu'une ligne d'éclairage; c'était la ligne d'exploitation de la Compagnie. Des courants alternatifs de 2.000 volts et 12 ampères circulaient sur les fils de lumière qui n'étaient qu'à 50 centimètres des fils téléphoniques. Il est impossible de se servir du téléphone sur cette ligne. Si l'on avait eu soin d'employer le système en hélice, on aurait probablement pu utiliser la ligne téléphonique sans inconvénient.

« M. Palaz exprime l'opinion que M. Vaschy attribue trop d'influence aux effets d'induction et pas suffisamment aux dérivations.

« M. Vaschy répond que les pertes peuvent donner lieu à des effets d'induction sans produire de dérivation.

« M. Palaz ajoute qu'à Montreux, la perturbation la plus grande se fait sentir, non pas sur les fils paral-

lèles à la voie du tramway, mais sur ceux qui prennent terre près des pertes.

« M. Mercadier croit que la nature même du bruit rendu par le téléphone doit déceler s'il s'agit d'une dérivation ou d'un effet d'induction.

« M. Banneux répond que les deux effets sont généralement plus ou moins mélangés, ce qui rend la distinction difficile. Considérons deux fils, l'un télégraphique allant du nord à l'ouest, l'autre téléphonique allant du nord au sud et dont les terres sont séparées par un espace de 50 mètres; on entend dans le téléphone tous les signaux émis par le télégraphe. On ne peut pas dire qu'il y a là ni dérivation, ni effet d'induction : il y a une sorte de conduction par la terre. Ceci vient à l'appui du fil double qui n'a pas de terre.

« L'orateur proteste énergiquement contre le translateur, qui affaiblit énormément la voix. On peut communiquer avec une ligne de deux fils de fer de 4 millimètres, jusqu'à une distance de 300 kilomètres, à condition d'être relié directement à la ligne. Les anciens réseaux à un fil étaient très mal construits; on a dû faire une campagne à Bruxelles, pour que les fils fussent soudés aux ligatures et aux conduites servant de fil de terre. Un expédient consiste à améliorer la ligne interurbaine : mais c'est cette ligne qui seule bénéficie de cette amélioration. Pour tous les nouveaux réseaux, l'administration belge impose le double fil. Dans les grands réseaux même, la Compagnie est obligée de donner le double fil aux abonnés qui le demandent, moyennant un supplément.

« M. Pollard constate que les entrées de poste sont

souvent très défectueuses. Les terres donnent souvent lieu à de grandes difficultés.

« M. Barbarat vient à l'appui du double fil. Une réunion d'ingénieurs des télégraphes français a eu lieu récemment sur l'initiative de l'Administration; elle a voté, à une grande majorité, l'adoption du double fil pour tous les nouveaux réseaux.

« M. d'Infreville constate qu'aux États-Unis, les Compagnies ont aussi été obligées d'entrer résolument dans la voie du double fil.

« M. le Président met aux voix la résolution suivante : le Congrès des électriciens émet le vœu que le double fil soit adopté pour les réseaux téléphoniques urbains et les lignes interurbaines.

« Cette résolution est adoptée à l'unanimité.

« M. Baudot a la parole pour sa communication : *Sur quelques perfectionnements récents de son télégraphe imprimeur multiple.* M. Baudot applique le système de la division du temps et de la division du travail. L'état électrique du conducteur a une grande influence; mais on peut à volonté corriger les effets produits. L'influence des courants induits par les transmissions voisines n'est pas dans la main de l'opérateur. Cette influence est d'autant moindre au point de vue du retard apporté au déclenchement de l'appareil, que cet appareil est plus sensible. On emploie un relai polarisé qui peut fonctionner avec un courant de 0,5 milliampère.

« Considérons le Baudot double qui fonctionne entre Paris et Rome avec translation à Turin. Il faut une communication pour passer de la transmission à la réception. Ceci se fait à la main aux postes extrêmes;

on a dû le réaliser automatiquement au poste intermédiaire. On utilise le retard dû à la propagation du courant sur les lignes pour maintenir le synchronisme.

« Le régulateur de vitesse se compose d'une masse maintenue au repos contre l'axe de rotation par un ressort à boudin dont les spires se touchent sans pression. Une accélération de vitesse a pour effet de décentrer le régulateur; il en résulte un accroissement considérable de pression sur les paliers, et une augmentation de travail résistant qui ramène la vitesse à la valeur normale. La constance de la vitesse dans ces conditions est remarquable. »



EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Au moment de la fermeture de l'Exposition universelle de 1889, nous avons pensé qu'il serait intéressant pour les lecteurs des *Annales télégraphiques* de trouver dans ce recueil, une énumération des différents collaborateurs de cette exposition, ainsi que les récompenses qu'ils ont obtenues.

Liste des collaborateurs avec l'indication des objets présentés :

EXPOSITION COLLECTIVE

DE LA DIRECTION GÉNÉRALE DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES.

Anizan. — Cryptographe.

Ansault. — *Cours d'exploitation postale.*

Arnauné. — Manipulateur à double courant.

Aubry. — Appareil Hughes avec clavier mobile.

Audry. — Carte des communications postales et télégraphiques du globe.

Barbaud. — *Voies et communications en France, en Algérie et en Tunisie. Extraits de l'Instruction générale sur le service des Postes.*

Bardez. — Systèmes de transmission multiple pour appareils Morse.

Barnier. — *Traité du service des recouvrements; Manuel des postulants; Traité de la Caisse d'épargne*, etc.

Baudin. — Grappins-étriers en fer, servant à monter aux poteaux des lignes télégraphiques. Mâchoires en fer et acier pour tendre les fils des lignes.

Baudot. — Appareil télégraphique.

Bayol. — Instruments de mesure électrique pour la recherche des défauts des câbles sous-marins (en collaboration avec M. DérIES).

Beau. — Sourdines pour fils télégraphiques et téléphoniques. Fusains représentant la pose des lignes télégraphiques.

Belloc. — *Les Postes françaises. Télégraphie historique.*

Berger. — *Manuel de télégraphie*, de Culley; *Électricité et magnétisme*, de Jenkin; *Traité des mesures électriques*, de Kempe (traductions).

Berthot. — Modèle réduit au 1/6 des supports, herses, cages et bois employés dans le Nord pour la construction des réseaux téléphoniques.

Blanqué. — *Origine des Postes*, de Lequien de la Neufville (édition de 1708). *Rapport sur les Postes*, du duc de Biron (1790). *Essai historique sur l'établissement des Postes.*

Bonnardot. — Cartable-compteur de timbres-poste, chiffres-taxe, timbres-épargne.

Borrel. — *Les recettes simples. Guides pratiques* (hommes, dames). *Traité de rédaction. Concours préparatoires* (hommes, dames). *Courrier des examens.*

Bouchard. — Système de transmission par charge permanente.

Bouquet. — *Traité du service des recettes des Postes.*

Boutard. — Potelet métallique pour lignes urbaines.

Boussac. — *Précis de télégraphie électrique. Cours de construction*, professé à l'École supérieure de télégraphie. *Cours de construction*, professé à l'École des contrôleurs.

Brien. — *Étude sur la traduction en signaux Morse des caractères latins employés dans la langue annamite* (manuscrit).

Brylinski. — Interrupteur sonore servant à la mesure des courants téléphoniques et à la comparaison des microphones.

Cacheleux. — Appareils figurant au musée de l'Administration.

Carême. — Cylindres à coler les bandes. Interrupteur automatique pour piles.

Chatonet. — Tapisserie en timbres-poste étrangers.

Charrière. — Deux systèmes de réglage appliqués à l'appareil Morse conjoncteur.

Chassan. — Sonnerie à trembleur. Appareil Morse portatif (en collaboration avec M. Rault).

Claverie. — Inverseur automatique.

Chauvassaigne. — Appareil télégraphique à transmission rapide.

Compagnie des Forges de Châtillon et Commentry. — Fils de fer.

Coronat. — Pile Leclanché modifiée.

Dagron. — Tableau contenant des dépêches sur pellicule du temps du siège de Paris (1870-1871).

Davillé — Système de votation par l'électricité.

Decamp. — Morse portatif et téléphone vibrateur.

Dejean. — *Méthode graphique pour la recherche des dérangements.*

Delfieu. — Récepteur Morse. *Étude sur l'influence des lignes télégraphiques sur les lignes téléphoniques.*

Déries. — Instrument de mesure électrique pour la recherche des défauts des câbles sous-marins (en collaboration avec M. Bayol).

Digeon. — Système avertisseur.

Dortet. — Réduction d'un wagon-poste complet.

Estaunié. — Interrupteur sonore servant à la mesure des courants téléphoniques et à la comparaison des microphones (en collaboration avec M. Brylinski).

Espert. — *Guide sur la comptabilité.*

Farjou. — Divers appareils destinés à accroître la vitesse des transmissions.

Frault. — *Manuel postal. Manuel télégraphique. Carte des ambulants français.*

Gautret. — Spécimens de reproductions galvanoplastiques (roues de types d'appareils Hughes et Baudot).

Germain. — Cinq modèles de piles diverses. Spécimens de produits extraits de la noix de cocotier. *Traité de galvanosynthie.*

Gillet. — *Leçons élémentaires de télégraphie* (en collaboration avec M. Michaud).

Godfroy. — Dispositions nouvelles dans l'agencement des installations télégraphiques.

Grandmaître. — *Méthode de relèvement des dérangements.*

Hayet. — Commutateur inverseur.

Hec. — *Traité du service des directions* (édition de 1882). *Carnet-Guide de la vérification des bureaux.*

Henri. — *Secrétaire des Postes et des Télégraphes*, à l'usage du public.

Hérodote. — Appareil télégraphique.

Houzeau. — Interrupteur avertisseur.

Hurault. — Système de tampon encreur pour l'appareil Hughes.

Jacot. — Poteau avec boîte de coupure pour seize fils doubles contenant des paratonnerres spéciaux imaginés par M. Jacot, etc.

Jacquez. — Céraunomètre.

Jordery. — Appareil télégraphique écrivant.

Kermabon. — Aquarelles.

Lagarde. — Divers appareils employés par l'Administration.

Lambrigot. — Téléphonographe.

Lanaud. — Deux boîtes aux lettres.

Lazare-Weiller. — Fils de cuivre.

Lefilleul. — Appareil Morse modifié.

Le Goaziou. — Commutateur électro-magnétique. Scrutateur électrique pour assemblées délibérantes.

Lemoine. — Casier pour boîtes de commerce, réduit au 1/5 de ses dimensions.

Liebray. — Perfectionnement aux distributeurs pour appareils multiples.

Lorrette. — Paratonnerre à pointes mobiles et à fil préservateur.

Mandroux. — Appareil microphonique pour lignes à grande distance (en collaboration avec M. Pecquet).

Marcillac. — Voltascope. Rhéostats. Relais. Électromètre. Téléphone pour postes suburbains. Galvanoscope pour poste téléphonique. Divers ouvrages.

Marcellot. — Fils de fer.

Mercadier. — Système de transmissions multiples, radiophoniques et microphoniques. Télémicrophones et téléphones diamagnétiques.

Michaud. — *Leçons élémentaires de télégraphie électrique* (en collaboration avec M. Gillet).

Michelis. — *La Téléphonie*, ouvrage de vulgarisation.

Mouchel. — Fils de cuivre.

Montpellier. — Collection de *La Revue internationale d'électricité.*

Moulet (Mme). — Tampon à timbre, dit « Tampon Chaudot ».

Munier. — Système de télégraphe imprimeur multiple.

Nacfer. — Manipulateur Morse à manette et à mouvements circulaires.

Nault. — Perforateur pour transmission automatique avec appareil Hughes compensateur de vitesse.

Onde. — Nouveau modèle de boussole des sinus.

Parment. — Appareil télégraphique.

Pecquet. — Appareil microphonique pour lignes à grande distance (en collaboration avec M. Mandroux).

Pelletier. — *Atlas du cours de construction et matériel*, professé à l'École professionnelle supérieure.

Perrin. — Élément Leclanché modifié. Élément Marié-Davy modifié.

Petit. — Avertisseurs d'incendie.

Picard. — Système d'application des machines dynamo-électriques à la télégraphie.

Rambaud. — Relai translateur à décharge. Parleur à décharge.

Rault. — Parleur à relais. Appareil Morse portatif (en collaboration avec M. Chassan).

Raymond. — Groupe de l'École supérieure.

Renault. — Bobine dérouleuse portative, pour fils de bronze.

Rouland. — *Traité du service des recettes des Postes* (en collaboration avec M. Bouquet).

Sambourg. — Relai sans réglage. Indicateur d'appel.

Sarcos. — Douze documents divers (memento-nomenclatures, tarifs-barêmes, etc), se rapportant au service ou intéressant le public.

Schæffer. — Manipulateur à décharge pour lignes aériennes de grande capacité et lignes souterraines.

Seligmann-Lui. — Herbier. Gutta-percha. Produits divers de l'île de Sumatra.

Sieur. — Transmetteur et récepteur téléphoniques. Annonciateurs et commutateurs à crochet. Appel magnétophonique. Sirène magnétique, etc.

Société de Commentry-Fourchambault. — Fils de fer.

Société des Forges et Ateliers de Saint-Denis. — Fils de cuivre.

Terral. — Appareils de démonstration de la transmission électrique, double pont.

Testu. — Téléphones (un poste avec deux téléphones seulement). Aimant à cuvette à pôles concentriques.

Thiroux. — Boîte aux lettres munie d'un système automatique pour indiquer les levées.

Trévedy. — Boîte de pile. Cimaise pour l'installation des câbles sous coton.

De Vacquier de Limon. — Casier en bois et verre pour le tri des correspondances. Rappel multiple.

Vaschy. — Divers ouvrages sur l'électricité.

Vasseur. — Manipulateur Morse à commutation de pile. Modification à l'appareil Hughes, établissant automatiquement les communications d'attente et de travail.

Willot. — Relais divers. Indicateurs d'appel. Installation d'appareils Hughes en communication simultanée avec plusieurs postes, etc.

Wunschendorff. — Système de décharge automatique pour l'emploi de l'appareil Hughes sur les lignes souterraines à grande distance. *Traité de télégraphie sous-marine.*

(*A suivre.*)

CONFÉRENCE TECHNIQUE

TENUE A PARIS EN JUILLET 1889

Sur la convocation du Directeur général des postes et des télégraphes, les fonctionnaires de l'administration centrale chargés d'un service technique, les ingénieurs de Paris et des départements, et les contrôleurs ou anciens contrôleurs exerçant leurs fonctions à Paris se sont réunis en conférence, dans cette ville, au mois de juillet 1889. Leur réunion coïncidait avec l'Exposition universelle et fournissait aux ingénieurs des départements l'occasion d'étudier les nouveaux appareils et les procédés d'exploitation imaginés ou mis à l'essai depuis 1881 ; mais elle avait surtout pour but de permettre à l'administration de recueillir et de coordonner, et aux fonctionnaires convoqués d'échanger et de discuter les renseignements résultant de l'expérience, des études ou des recherches personnelles des membres de la conférence.

Un programme détaillé, arrêté à l'avance, devait servir de point de départ à la discussion. Il faisait une large part à la téléphonie dont l'organisation préoccupait dès lors tout particulièrement l'administration et qui n'en est encore qu'à la première période de son développement.

La séance d'ouverture eut lieu le 16 juillet, sous la présidence de M. le Directeur général.

La conférence comprenait des réunions par section, dans lesquelles les questions étaient l'objet d'un premier examen et des séances plénières où étaient discutées les propositions présentées sous forme de vœux ou d'avis.

Les membres de la conférence s'étaient répartis en cinq sections correspondant aux cinq divisions du programme, savoir ;

1re *Section.* — Construction et entretien des réseaux téléphoniques urbains ou d'intérêt local.

2e *Section.* — Bureaux centraux des réseaux téléphoniques urbains.

3e *Section.* — Appareils, postes téléphoniques d'abonnés, cabines publiques.

4e *Section.* — Téléphonie interurbaine.

5e *Section.* — Télégraphie.

La première semaine fut employée aux travaux dans les sections, chacune d'elles tenait au moins une séance par jour. Cinq séances plénières furent ensuite consacrées, du 23 au 31 juillet, à la discussion des rapports et des avis des sections.

Ces études collectives, les discussions parfois très animées, mais toujours approfondies qui les suivirent, fourniront d'utiles indications pour les solutions des questions controversées ou sur la direction à donner aux nouvelles recherches dont elles font resssortir l'utilité. Comme le faisait observer M. le Directeur général dans l'allocution qu'il a prononcée à l'ouverture de la conférence, elles sont de nature à stimuler l'activité des esprits et serviront à créer un corps de doctrine ou à tracer des règles uniformes pour les opérations des services de la télégraphie et de la téléphonie. Dans tous les cas elles fixent avec plus

de précision l'état actuel des problèmes que soulèvent le développement et les progrès de ces deux services.

Le compte rendu des travaux de la conférence, les procès-verbaux des séances plénières, les rapports et les communications seront publiés séparément. Les réunions touchant à des sujets qui n'auraient pas déjà été traités dans les *Annales* trouveront place dans ce recueil que l'administration a ainsi associé à son œuvre. Nous nous bornerons donc aujourd'hui à signaler les résolutions touchant les points les plus importants.

La Conférence a recommandé l'emploi du fer, de préférence au bois pour la construction des tourelles de concentration et la confection des appuis des réseaux aériens dans les villes.

Elle s'est prononcée, comme l'a fait après elle, le Congrès international des électriciens, pour la constitution des doubles fils de tous les circuits téléphoniques.

Elle a étudié des types d'isolateurs, de supports, de tourelles, de sourdines pour lignes aériennes, des modèles de câbles pour lignes souterraines, indiqué les essais auxquels ces types devraient être soumis.

Elle a prescrit un programme d'ensemble pour la construction des grands réseaux téléphoniques, la détermination de la nature et du diamètre des fils qui doivent être adoptés dans les divers cas.

Il a été admis, en principe, que les réseaux téléphoniques devaient être établis suivant le système des lignes rayonnantes avec le bureau central unique.

Les appareils et les divers organes qui sont utilisés pour l'installation des bureaux centraux et des postes téléphoniques ont été passés en revue dans le but de préparer un questionnaire sur un programme d'études

reposant sur une classification méthodique des réseaux et sur les données de l'expérience.

La ligne téléphonique de Paris à Marseille a montré que la correspondance téléphonique pouvait s'établir en quelque sorte à toute distance; mais cet essai d'une importance capitale a cependant laissé en suspens de nombreux problèmes. La conférence s'est surtout attachée à indiquer les nouvelles recherches à faire pour déterminer exactement les meilleures conditions d'établissement et de fonctionnement des lignes téléphoniques interurbaines et pour élucider les questions d'un grand intérêt pratique et scientifique : comme l'emploi des mêmes fils à des conversations téléphoniques et à la transmission des télégrammes au moyen des appareils rapides.

Les études relatives à la télégraphie n'ont pas été moins variées; mais le service possédait déjà des appareils et des méthodes éprouvés, il s'agit de les perfectionner et d'en tirer un meilleur parti plutôt que d'en créer de nouveaux.

La cinquième section a reçu communication de plusieurs mémoires intéressants. Ses études ont porté particulièrement sur les moyens d'augmenter le rendement des fils et des appareils à l'aide de condensateurs ou de bobines de self-induction, sur la substitution du fil de cuivre au fil de fer dans la construction des lignes principales, sur le remplacement des piles dans les grands bureaux télégraphiques, par des machines dynamos ou par des accumulateurs, sur la possibilité d'employer le téléphone dans le service télégraphique, soit pour le développement de ce service dans les campagnes, soit pour la distribution des télégrammes dans les villes et dans leur banlieue.

Dans le cours de leurs études, les membres de la conférence avaient été amenés à constater des lacunes dans les publications concernant les organisations étrangères et sur les nouveaux appareils qui sont le plus en faveur dans les autres pays. Suivant un vœu unanime auquel s'est associée l'administration, des missions ont été constituées pour recueillir des renseignements précis sur les systèmes appliqués et les résultats obtenus à l'étranger. Cette enquête ne saurait manquer d'être fructueuse.

Dans le même ordre d'idées, elle a demandé la création d'un atlas du matériel des lignes aériennes. Ce travail a été depuis lors exécuté avec le plus grand soin et constitue la base du portefeuille de l'ingénieur des télégraphes.

L. R.

CHRONIQUE.

Sur la mesure électrochimique de l'intensité des courants.

Par M. A. Potier.

La précision de la mesure de l'intensité d'un courant par la pesée du dépôt métallique produit par l'électrolyse dépend de deux facteurs : la valeur de l'équivalent électrochimique du métal déposé et la netteté de la réaction chimique qui accompagne le passage du courant.

Si l'on ne considère que le premier point de vue, la plus grande précision serait atteinte par l'électrolyse des sels mercureux, dans lesquels l'équivalent électrochimique du mercure est de 200, tandis que celui de l'argent, métal généralement employé, est de 108 seulement. Mais si l'on place dans le même circuit deux voltamètres, l'un contenant un sel mercureux (l'azotate de préférence, dont les dissolutions sont beaucoup moins résistantes que celle du sulfate) et l'autre contenant de l'azotate d'argent, on ne trouve pas un rapport constant entre les poids des deux métaux déposés. Le poids du mercure est toujours plus faible que le poids calculé d'après celui de l'argent déposé; même avec de très faibles densités de courant (*), l'écart atteint encore 1 à 2 p. 100; cependant on avait vérifié que la dissolution ne renfermait pas du sel mercurique, ni d'acide libre en quantité appréciable.

Pour me rendre compte des motifs de cette irrégularité, j'ai été conduit à examiner de plus près l'électrolyse de l'azotate de mercure; en employant toujours une anode de même métal, et pour pile soit un, soit deux éléments Daniell, les faits observés restent les mêmes.

(*) Dans les deux voltamètres, les électrodes étaient formées des métaux dissous dont les dimensions permettaient de faire varier la densité du courant; l'argent était en lames; le mercure dans des cuvettes mobiles en verre, avec tube latéral pour l'arrivée et la sortie du courant.

Si l'on prend pour cathode une lame de platine passée à la flamme, on voit d'abord un dégagement de gaz qui cesse peu à peu ; lorsque ce dégagement a cessé, la lame est recouverte de mercure qui en mouille la surface, et le courant continue à passer en déposant du mercure.

Le dégagement initial d'hydrogène ne peut être attribué à la composition du liquide, qui pourrait avoir au début, malgré les précautions prises, contenu un peu d'acide libre, disparu par la suite; en effet, si l'on introduit une lame de platine neuve à la place de celle qui a été amalgamée, le dégagement de gaz recommence; de même, lorsque l'amalgamation a commencé, on peut reconnaître qu'il se dégage encore du gaz sur les parties non amalgamées, tandis qu'il se dépose du mercure sur les autres; inversement, si l'on introduit dans une dissolution qui donne un dégagement de gaz sur une lame de platine une autre lame préalablement amalgamée, on n'observe plus de dégagement.

On obtient exactement les mêmes phénomènes en employant, pour décomposer le sel mercureux, comme électrode négative, l'argent ou le cuivre (dans ce dernier cas, les communications doivent être établies avant de plonger la lame dans le liquide pour éviter toute amalgamation antérieure); il y a dégagement de gaz persistant plus longtemps sur le platine, amalgamation progressive et disparition du dégagement.

Des chocs ou des interruptions du courant déterminent plus rapidement l'établissement de cette période finale, où le dégagement cesse d'être visible.

Le rôle de la cathode n'est donc pas purement passif, mais l'état de sa surface joue un rôle; il y a la plus grande analogie entre ces faits et ceux étudiés par M. Gernez dans ses recherches sur les retards à l'ébullition; le dégagement du gaz est intimement lié à la présence de la gaine gazeuse qu'entraîne avec elle la lame métallique, gaine qui disparaît peu à peu quand le gaz se dégage, et que l'amalgamation détruit en grande partie; il paraît extrêmement probable que des faits analogues doivent se passer dans l'électrolyse d'autres sels et que les dépôts réguliers ne peuvent se former que sur des surfaces absolument mouillées par le liquide.

Toutefois, ces faits sont insuffisants pour expliquer l'irré-

gularité signalée plus haut lorsqu'on emploie une cathode de mercure; dans ce cas, on ne voit plus de dégagement de gaz, mais on observe toujours une polarisation énergique, qui se traduit du reste par des mouvements à la surface de la cathode quand on interrompt ou rétablit le courant, tandis que dans l'électrolyse régulière du sulfate de cuivre ou du nitrate d'argent, la polarisation est insensible; les choses se passent comme si l'hydrogène était réellement produit à la surface de cette cathode, occlus par elle, et détruit par diffusion, ou au moins par la cause qui produit la dépolarisation spontanée des électrodes; cette hypothèse expliquerait la simultanéité des deux phénomènes, polarisation de la cathode, absence d'équivalence entre le mercure déposé et l'intensité du courant.

La mesure électrolytique de l'intensité d'un courant ne peut donc être considérée comme rigoureuse qu'à la condition que les électrodes ne présenteront aucune trace de polarisation; on admet généralement que cette condition est rigoureusement remplie lorsque les électrodes sont formées du métal dissous; les expériences précédentes prouvent qu'il n'en est pas toujours ainsi.

(*Comptes rendus*, 25 février 1889.)

Traitement électrolytique des eaux d'égout (*).

La question du jour est celle du traitement des eaux d'égout, par le procédé électrolytique dû à M. William Webster, et dont nous avons déjà eu occasion de parler dans les colonnes de ce journal. L'inventeur a installé, à ses frais, à Crossness, endroit où les eaux d'égout refoulées de Londres sont repompées de nouveau pour être refoulées à la mer, une usine de démonstration capable de traiter 4,500 mètres cubes par jour. Les expériences suivies depuis un an ont été couronnées du plus grand succès. L'électrolyse de la matière a lieu entre des électrodes de fer, l'oxygène et le chlore naissant

(*) V. *Annales télégraphiques*, 1885, p. 175 : *Filtrage électrique des eaux d'égout.*

étant transportés, sous forme d'acide hypochloreux, à l'électrode positive où ils oxydent rapidement les matières organiques. Le fer est dissous au taux de 30 milligrammes par litre de matière traitée et, se combinant sous forme d'hypochlorite avec les matières en suspension, les coagule en flocons qui, supportés par les bulles d'hydrogène surnagent, laissant au-dessous un liquide transparent. Si les eaux ainsi traitées sont écoulées dans un réservoir, après deux heures de repos, les parties coagulées libérées par l'hydrogène qui se dégage graduellement tombent au fond sous forme de boues et le liquide peut être écoulé. Le procédé, sur cette petite échelle, est estimé coûter 3f,6 les 1.000 mètres cubes et, comme la totalité des eaux d'égout de Londres est évaluée à 351.000 mètres cubes par jour, le procédé Webster, s'il était adopté, coûterait 475.000 francs par an.

On estime que ce prix serait inférieur au coût du traitement chimique actuellement en usage et qui consiste à ajouter 53 milligrammes de chaux et 15 milligrammes de sulfate de fer par litre de matière traitée. De plus, le traitement chimique, tel qu'il est pratiqué, ne semble pas donner des résultats satisfaisants.

Dans le procédé Webster, les eaux d'égout parcourent un long chenal en pente, muni de groupes de plaques de fer placées parallèlement entre elles et aux côtés du chenal, l'espace libre est d'environ 26 millimètres d'épaisseur, et à la profondeur du chenal. Les plaques alternativement positives et négatives, ont une différence de potentiel égale à 2 1/2 volts, le courant de 20 volts de la dynamo passant par six groupes de plaques disposées en séries. La durée de l'écoulement varie avec la densité de la matière, de deux à dix minutes. La densité du courant est d'environ 1 ampère par mètre carré d'électrodes.

Le système de M. Webster a fait, récemment, l'objet d'une démonstration publique et les nombreux visiteurs ont été charmés de la simplicité et de l'efficacité du système.

(*Électricien*, 6 avril 1889.)

Sur la phase initiale d'électrolyse.

Par M. Piltschikoff.

Quand on relie à une pile des électrodes formées d'un métal quelconque plongées dans une dissolution de son sel, on voit, en général, l'électrolyse commencer immédiatement, quelque petite que soit la force électromotrice de la source d'électricité.

Mais, si l'on change la cathode en la remplaçant par un autre métal plus positif, on trouve, comme l'a indiqué M. Lippmann, qu'il faut appliquer à un tel élément une force électromotrice déterminée pour commencer l'électrolyse. Dans le cas d'électrodes en platine et cuivre dans une dissolution de sulfate de cuivre, il faut $\frac{1}{15}$ de daniell. Ce phénomène ne peut être prévu par la considération du travail chimique, lequel doit être nul pour le transport de cuivre d'une électrode à l'autre. Ce phénomène m'a paru ressembler aux réactions chimiques étudiées par M. Berthelot, qui exigent un travail préliminaire pour commencer (*).

Ayant étudié ce phénomène du retard de l'électrolyse pour plusieurs couples de métaux, j'ai été conduit aux résultats suivants :

Le minimum de la force électromotrice nécessaire pour provoquer immédiatement une électrolyse visible ne dépend, entre certaines limites, ni de la nature du sel ni de la concentration de la dissolution (or, zinc, sulfate de zinc, platine, cuivre, sulfate de cuivre, azotate de cuivre, or ou platine, argent, nitrate d'argent, chlorate d'argent); le minimum ne dépend pas sensiblement ni de la chaleur de combinaison des deux métaux, ni de la force électromotrice de contact. Pour les trois couples ci-dessus, il est égal à 0,036 daniell environ.

Il dépend essentiellement de l'état physique de la surface de la cathode, lequel peut changer les nombres obtenus jusqu'à 20, même 25 p. 100 (**).

(*) *Essai de mécanique chimique*, t. II, p. 6.

(**) On trouve, par exemple, pour l'or, l'argent, le chlorate d'argent : 0,0352 daniell, 0,0354 daniell, 0,0354 daniell, 0,0355 daniell..., et puis 0,0414 daniell.

Pour expliquer le phénomène du retard d'électrolyse, je pense qu'il faut avoir recours à la considération de l'énergie moléculaire des surfaces des électrodes.

Soit q la quantité d'électricité qui transporte à travers l'électrolyte n molécules du métal. Pour détacher n molécules de la surface de l'anode, il faut fournir un travail nW_1; quand n molécules se déposent sur la surface de la cathode, elles produisent un travail nW_2. En vertu du principe de conservation de l'énergie, il faut que, en désignant $\frac{q}{n}$ par A,

$$(1) \qquad e = A(W_1 - W_2),$$

où e est la force électromotrice antagoniste entre les électrodes.

Si les surfaces des deux électrodes sont formées du même métal et si l'état physique de ces surfaces est identique, le second membre de l'équation (1) est nul. Donc il n'y a pas, dans ce cas, un minimum de la force électromotrice nécessaire pour commencer l'électrolyse permanente. L'énergie du courant ne sert alors qu'à la production des phénomènes de Joule, de Peltier et de Thomson.

L'expérience montre qu'il n'y a pas de minimum de la force électromotrice pour effectuer l'électrolyse dans un système : platine, or, chlorure d'or; il y a donc conservation de l'énergie moléculaire de l'or sur les deux électrodes.

Mais si l'état physique ou chimique de la cathode n'est pas identique avec celui de l'anode, deux cas peuvent se présenter :

1° Si $W_1 > W_2$, c'est-à-dire si l'énergie potentielle de la couche superficielle de l'anode est plus grande que celle de la couche formée par n molécules sur la surface de la cathode, on peut appliquer au système considéré une force électromotrice e' contraire, mais moindre que $A(W_1 - W_2)$, et l'électrolyse commence néanmoins. Elle s'arrête quand le dépôt sera suffisant pour que l'on ait $e - e' = 0$. Tel est le cas de l'or pris comme cathode du mercure et d'une dissolution de nitrate mercureux. On peut appliquer à ce système une force électromotrice contraire allant jusqu'à 0,029 daniell.

2° Si $W_1 < W_2$; la force électromotrice pour effectuer le transport du métal doit être plus grande que $A(W_1 - W_2)$.

Nous avons déjà remarqué que, pour les systèmes: Pt, Cu ; Au, Zn ; Au, Ag, elle est égale à 0,036 daniell environ. Cette égalité des forces électromotrices minima, pour les trois couples de métaux dont les propriétés chimiques et physiques sont très différentes, montre clairement où il faut chercher la cause de la différence sensible dans l'énergie potentielle du même nombre de molécules du métal, placées sur l'anode ou sur la cathode.

Cette différence des énergies me semble tenir à la différence des pressions moléculaires (considérées conformément à la loi de Laplace) dans la couche superficielle de l'anode et dans les parcelles déposées sur la cathode. L'expérience montre que dans les trois cas ci-dessus, il n'y a presque pas d'adhérence entre le dépôt et la cathode : on peut le détacher en promenant simplement sur la surface de la cathode un pinceau. Le dépôt dans la première phase de sa formation se présente dans l'état pulvérulent, état auquel correspond en général une plus grande énergie potentielle.

Il est facile de voir que, par la détermination de la force antagoniste à l'électrolyse dans le cas où le dépôt n'est pas adhérent, on peut calculer approximativement la chaleur de formation de 1 équivalent du métal à l'état cristallin. Pour le zinc, le cuivre et l'argent nous trouverons, d'après le nombre donné par M. Berthelot : 1 volt correspond à 23 calories, que 0,036 daniell correspondront à 0,895 calorie.

(*Comptes rendus*, 25 mars 1889.)

Sur la polarisation électrolytique par les métaux.

Par M. Piltschikoff (*).

Pour expliquer le retard de l'électrolyse découvert par M. Lippmann (**) dans un système électrolytique où le travail chimique proprement dit est compensé, j'ai dit, dans ma Note

(*) Ce travail a été fait au laboratoire de Recherches physiques à la Sorbonne.

(**) *Journal de physique*, 1879, p. 59.

précédente, qu'il faut avoir recours à la considération du travail moléculaire. En s'appuyant sur le principe de la conservation de l'énergie, j'ai exprimé la force électromotrice ε antagoniste à l'électrolyse en fonction des énergies moléculaires Q_1 et Q_2 de l'anode et de la cathode

$$\varepsilon = A(Q_1 - Q_2),$$

où A est l'équivalent chimique de l'électricité. Cela admis, j'ai pensé que chaque modification dans l'état physique de la surface de la cathode doit influer sur l'adhérence du dépôt électrolytique et, par conséquent, sur l'énergie Q_2. En effet, j'ai observé les changements de ε dépendant de cette cause, comme je l'ai déjà dit. Or, dans l'équation ci-dessus entre encore un terme variable, c'est l'énergie Q_1 de l'anode; il était donc intéressant, pour vérifier l'explication proposée du retard de l'électrolyse, d'essayer si l'état physique de l'anode influe aussi sur la grandeur de ε. L'expérience montre que la valeur de la force antagoniste ε change conformément à ce qu'on peut prévoir *a priori :* ainsi, par exemple, en gardant dans le système Pt, Cu, $CuSO^4$ la surface de la cathode en platine toujours la même, j'ai déterminé $\varepsilon = 0{,}038$ daniell pour l'anode en cuivre rouge compact et $\varepsilon = 0{,}025$ daniell pour l'anode en cuivre électrolytique cristallin. Des variations de même ordre correspondent aux autres cas où ε est une force antagoniste.

On peut encore se demander si la différence de potentiel η appliquée aux électrodes dans un système avec travail chimique compensé sera plus petite que la force antagoniste ε; que se produira-t-il?

Il n'est pas douteux qu'on observera la polorisation des électrodes, mais par quoi est-elle produite? Est-ce l'hydrogène seul qui polarisera la cathode ou bien aussi le métal de l'électrolyte?

Les expériences que j'ai faites montrent que le métal s'accumule sur la surface de la cathode.

En général, quand on polarise les électrodes, les ions qui s'accumulent sur leurs surfaces ne sont pas visibles parce que plusieurs agents physiques tendent à détruire l'effet de cette accumulation. Parmi ces agents, il faut citer comme le plus important la dissolution des ions par l'électrolyte même. Cette

cause, qui est si efficace pour les ions gazeux, l'est beaucoup moins pour les ions constitués par les corps solides très peu solubles dans l'électrolyse. On peut donc espérer, dans ces cas, que la force électromotrice nécessaire pour produire un dépôt électrolytique visible sera une fonction continue du temps qui s'écoule entre la fermeture du courant et l'apparition de ce dépôt.

Prenons en effet le système Pt, Cu, $CuSO^4$. Le retard d'apparition du cuivre sur le platine devient de plus en plus grand à mesure qu'on diminue la force électromotrice appliquée aux électrodes. Ainsi, j'ai vu le dépôt apparaître avec $\eta = 0,028$ daniell après une demi-heure, avec $\eta = 0,023$ daniell après une heure; avec $\eta = 0,006$ daniell, il m'a fallu attendre plus de quarante heures pour constater l'apparition d'une première parcelle de cuivre (qui avait le diamètre de $\frac{1}{2}$ micron, ce qui établit la limite de puissance de la méthode dont je me sers).

L'influence de l'état physique des électrodes dans le phénomène lent de l'accumulation de la cathion paraît être encore plus essentielle que dans la production immédiate de leur dépôt : les nombres cités se rapportent au cas où l'anode était en cuivre compact; avec l'anode en cuivre électrolytique cristallin l'accumulation se produit beaucoup plus vite, et avec $\eta = 0,0025$ daniell j'ai observé après quarante heures un dépôt déjà très développé.

La système Au, Zn, $ZnSO^4$ se comporte de la même manière.

Il résulte de ce qui précède que :

On peut polariser un métal par un autre métal.

(*Comptes rendus*, 29 avril 1889.)

Sur l'enroulement des bobines de résistance destinées aux mesures par les courants alternatifs.

Par M. G. Chaperon.

On sait depuis assez longtemps que les bobines de résistance ordinaires ne se prêtent pas aux mesures effectuées dans un

pont de Wheatstone par la méthode des courants alternatifs (*).

Lorsqu'on emploie le téléphone comme galvanoscope, par exemple, on obtient, avec les bobines actuelles, au lieu du silence pour la position d'équilibre, un minimum de bruit assez mauvais dès que les résistances de comparaison dépassent 2.000 ohms; avec 20.000 et 50.000, on ne pourrait absolument pas faire de mesures exactes.

Ayant eu à évaluer par la méthode des courants alternatifs, seule applicable dans ce cas, certaines résistances élevées et polarisables (appareils de radiophonie), nous avons été conduit à examiner cette question et, sur le conseil et sous la direction de M. Cornu, qui pensait depuis longtemps que ces effets étaient dus moins à la self-induction qu'aux phénomènes mal définis qu'on rencontre aussi dans les condensateurs (résidus persistants, électrolyse, électrification), nous avons cherché s'il ne serait pas possible de supprimer ou d'atténuer les défauts des résistances actuelles.

Kohlrausch et d'autres physiciens (**) ont attribué ces effets surtout à la capacité électrostatique. Cette explication est rendue très probable (***) par la comparaison de deux enroulements de même volume exécutés avec le même fil, l'un simple, l'autre formé, comme les bobines actuelles, de deux brins parcourus en sens inverse par le courant. L'enroulement simple, associé avec une résistance rectiligne sur un pont à fil, donne un minimum meilleur; l'effet de la self-induction sur le fil simple est cependant beaucoup plus grand que sur l'enroulement double; mais celui de la capacité est moindre.

Une expérience analogue montre que c'est la self-induction qui domine maintenant dans l'enroulement simple : en alternant le sens de quelques couches, on obtient une amélioration considérable.

Ces essais qualitatifs suffisent pour indiquer la marche à suivre dans l'amélioration de ces appareils, auxquels le calcul ne s'appliquerait qu'avec de grandes difficultés. On doit penser

(*) Bouty et Foussereau, *Journal de Physique*, t. IV, 1885. — Kohlrausch, *Annalen*, 1885. — Sheldon, *Annalen*, 1888.

(**) Kohlrausch, *loco citato*. — Brylinski, *Annales télégraphiques*, 1888.

(***) Cette expérience ne permet cependant pas de distinguer la capacité proprement dite de l'électrolyse, etc.

évidemment qu'on diminuera les effets de la capacité et ceux analogues, en diminuant, par l'emploi du cloisonnement, la différence de potentiel des portions de fil en contact, et la self-induction en changeant le plus fréquemment possible le sens de l'enroulement.

Il importe, au moins pour les opérations avec les courants alternatifs, d'atténuer séparément les deux causes d'erreurs; car la compensation qui pourait se faire entre elles dépend de la période de variation du courant, et l'on ne saurait compter sur la régularité et la simplicité de cette dernière.

Après d'assez nombreux essais, nous avons produit quelques types de bobines ne dépassant pas 25.000 ohms en un enroulement. Elles sont constituées par du fil de maillechort de $\frac{4}{100}$ et *toutes* les couches de l'épaisseur d'un fil sont rigoureusement *égales* et enroulées dans des sens de rotation contraires. L'enroulement de ces résistances est d'ailleurs beaucoup plus facile qu'on ne le croirait : il s'exécute avec une machine que nous avons fait construire par la maison de Branville et est presque aussi rapide que celui des bobines simples.

Le minimum que donnent ces résistances sur un pont à fil de sensibilité usuelle (*) est aussi bon que celui des résistances de graphite.

Elles ont été soumises aux vérifications suivantes :

1° Mesures de résistances liquides relatives (dissolution de KCl), exécutées en employant à dessein des bobines de comparaison de 40.000 ohms à 100.000 ohms; on a obtenu généralement le $\frac{1}{100}$ avec un très bon minimum.

2° Comparaison avec de fortes résistances liquides (siphons de sulfate de zinc), en faisant la mesure alternativement sur le même pont au courant continu ou alternatif. L'identité est parfaite, sauf parfois un petit effet attribuable à la polarisation du zinc.

3° Même comparaison avec une résistance de graphite. La différence entre les mesures avec les deux sortes de courants n'est pas appréciable avec nos instruments.

Le pont à téléphone qui sert à faire ces essais est un pont à

(*) Fil de 125 ohms pour 1 mètre.

fil droit, assez analogue au pont à fil en hélice de Kohlrausch. On peut le monter spécialement de manière à mettre en évidence les plus faibles traces de self-induction ou de capacité dans un conducteur. On emploie alors un fil de platine allié fin, de 500 ohms, 1.000 ohms par mètres et plus, et comme source un inducteur de résistance à peu près égale; on accroît très notablement la sensibilité du téléphone pour les grandes résistances en le plaçant dans le circuit induit d'une petite bobine d'induction convenablement calculée. Même avec cette sensibilité exagérée les bobines à enroulements alternés donnent un minimum suffisant.

Dans les mêmes circonstances, les meilleurs boîtes de résistances actuelles ne permettraient aucune mesure même approchée, dès que les bobines employées dépassent 2.000 ohms à 5.000 ohms.

(*Comptes rendus*, 15 avril 1889.)

Le compteur d'électricité de M. Hookham.

Cet appareil, qui commence à se répandre en Angleterre, appartient à la classe des compteurs-moteurs. Il est caractérisé par une faible vitesse angulaire, une grande exactitude et une faible dépense relative, puisqu'elle ne dépasse pas un millième de la puissance maxima à pleine charge. Il est constitué en principe par un moteur électrique agissant pour vaincre les courants de Foucault, qu'il développe par sa rotation même, toutes les autres causes retardatrices étant négligeables devant ces deux actions principales motrice et retardatrice. Les sections de l'induit sont montées sur un disque de cuivre, les connexions étant établies en spirale autour des bords du disque. Le disque et l'induit tournent ensemble entre les pôles ou armatures de l'aimant formé de barreaux d'acier au tungstène enfermé dans un tube en laiton. L'armature ne renferme pas le fer, et le courant arrive à l'induit par des contacts à mercure.

Dans un appareil de 100 ampères dont le moteur était shunté par un conducteur en maillechort, les variations dues aux changements de température tendaient à se compenser. Le grand secret du procédé employé par M. Hookham pour réaliser

des aimants véritablement permanents réside dans l'emploi d'un champ magnétique bien fermé. Des appareils construits sur ce principe n'ont pas manifesté le moindre signe d'affaiblissement après dix-huit mois de service continu. Avis aux constructeurs d'appareils de mesure à aimants permanents.

(*Électricien*, 22 juin 1889.)

Résistance spécifique du papier.

Le papier et le carton ont une résistance spécifique extrêmement grande, dont la valeur varie encore beaucoup avec la nature des différents échantillons examinés. M. F. Uppenborn a effectué une série de mesures de résistance sur diverses sortes de papiers et de cartons; nous citerons ici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus, afin de donner une idée approximative des résistances que l'on peut obtenir avec ces différentes substances. La résistance varie naturellement avec la pression exercée à la surface; ces valeurs sont ainsi indiquées :

	Pression en Kg par cm².	Résistance spécifique en ohms-centimètres.
Carton ordinaire	0	$4850 \cdot 10^{12}$
	1	$2430 \cdot 10^{12}$
	2	$2430 \cdot 10^{12}$
	5	$1580 \cdot 10^{12}$
	10	$1054 \cdot 10^{12}$
	20	$467 \cdot 10^{12}$
Papier gris ordinaire du commerce	0	$3100 \cdot 10^{12}$
	1	$2700 \cdot 10^{12}$
	2	$2500 \cdot 10^{12}$
	5	$1600 \cdot 10^{12}$
	10	$1320 \cdot 10^{12}$
	20	$800 \cdot 10^{12}$
Papier parchemin jaune	0	$30500 \cdot 10^{12}$
	1	$3770 \cdot 10^{12}$
	2	$2830 \cdot 10^{12}$
	5	$1940 \cdot 10^{12}$
	10	$1350 \cdot 10^{12}$
	20	$880 \cdot 10^{12}$

(*Électricien*, 30 mars 1889.)

BIBLIOGRAPHIE.

L'Électricité appliquée à l'art militaire, par le colonel Gun. (J.-B. Baillère, éditeur.)

Dans l'introduction placée à la tête de son livre, l'auteur fait remarquer que les applications de l'électricité à la guerre n'ont pas encore été coordonnées et réunies en un seul volume. Jusqu'ici, en effet, elles n'ont été décrites que par des techniciens et leur étude est, par suite, inabordable aux gens instruits qui ne font pas le double métier de militaire et d'électricien. C'est à ceux-là que le colonel *Gun* a pensé être utile en vulgarisant les applications électriques dont il s'occupe.

Ce livre semble bien remplir le but que l'auteur s'est proposé; il est écrit simplement, il traite avec clarté les sujets les plus variés sans entrer dans de trop longs développements.

L'auteur passe en revue successivement les procédés de mise de feu des mines, l'organisation de la télégraphie militaire qui prend une extension de plus en plus grande en France et à l'étranger, la construction des lignes, les différences entre les matériels télégraphiques; il signale en passant les avantages que l'Angleterre a trouvés à l'emploi des perches en bambou dont le colonel préconise l'usage dans notre pays. Remarquons à ce propos que ce matériel entre depuis 1887 dans l'armement des sections télégraphiques françaises. Il traite ensuite de la téléphonie militaire, puis de la télégraphie optique et des différentes inventions faites dans le but d'enregistrer les signaux optiques fugitifs. Cette partie est plus particulièrement accompagnée de réflexions philosophiques sur l'utilité de semblables enregistreurs dans un grand nombre de circonstances. L'éclairage des travaux de guerre et d'autres applications, fort intéressantes de l'électricité, sont également examinés.

En résumé, nous sommes en présence d'un livre de vulgarisation écrit dans un style agréable à lire et contenant des renseignements précieux, et même indispensables à connaître.

H. P.

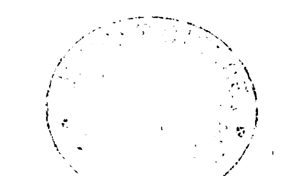


TABLE DES MATIÈRES.

TOME XVIe. — ANNÉE 1889.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Septembre-Octobre.

Numéro de Novembre-Décembre.

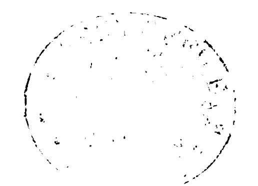


TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE
DES MATIÈRES.

TOME XVIe. — ANNÉE 1889.

D

E

F

G

H

I

J

L

M

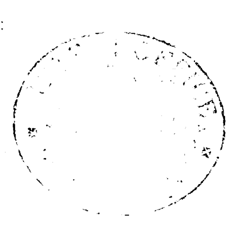
O

P

R

S

T



FIN DES TABLES.

Gérant : Ve Dunod. — IMPR. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

